

**平成28年度
研究評価委員会
(エレクトロニクス・製造領域)
評価報告書**

平成29年6月



国立研究開発法人

産業技術総合研究所 評価部

評価報告書 目次

1. 評価委員会議事次第	1
2. 評価委員	3
3. 評価資料（主な業務実績等（委員会開催時 ¹ ））	5
4. 評価資料（説明資料（委員会開催時 ¹ ））	19
5. 評価資料（主な業務実績等（年度末確定値））	105
6. 評価委員コメント及び評点	107

¹ 平成 29 年 3 月 28 日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
平成 28 年度 研究評価委員会（エレクトロニクス・製造領域）
議事次第

日 時：平成 29 年 3 月 28 日（火）10:00-17:30

場 所：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 つくば中央第一事業所 ネットワーク会議室
（本部・情報棟 1 階 1306-2 室）

開会挨拶	評価部長	加藤 一実	10:00-10:05
委員等紹介・資料確認	評価部研究評価室	大橋 文彦	10:05-10:10

領域による説明（質疑含む） （議事進行：前川 禎通 評価委員長）

1. 領域の概要と研究開発マネジメント		10:10-11:10
（説明 30 分、質疑・評価記入 30 分）	エレクトロニクス・製造領域長	金丸 正剛

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）		11:10-12:30
（説明 45 分、質疑・評価記入 35 分）		

① 「スピントロニクス技術」	スピントロニクス研究センター長	湯浅 新治
② 「新型メモリ/ロジック技術」	ナノエレクトロニクス研究部門長	安田 哲二
③ 「光センシング技術」	電子光技術研究部門副部門長	阿澄 玲子

昼食・休憩（45 分）		12:30-13:15
-------------	--	-------------

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発		13:15-14:20
（説明 30 分、質疑・評価記入 35 分）		

① 「ネットワーク MEMS」	集積マイクロシステム研究センター長	廣島 洋
② 「フレキシブルエレクトロニクス」	フレキシブルエレクトロニクス研究センター長	鎌田 俊英

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発		14:20-15:25
（説明 30 分、質疑・評価記入 35 分）		

① 「スマートマニュファクチャリング」	製造技術研究部門長	市川 直樹
② 「先進コーティング技術」	先進コーティング技術研究センター長	明渡 純

現場見学会（60 分）		15:25-16:25
-------------	--	-------------

休憩（10 分）		16:25-16:35
----------	--	-------------

総合討論・評価委員討議・講評 （議事進行：前川 禎通 評価委員長）

総合討論（領域等への質疑を含む）	（15 分）	16:35-16:50
評価委員討議（領域等役職員 退席）	（15 分）	16:50-17:05
評価記入（領域等役職員 退席）	（15 分）	17:05-17:20
委員長講評（領域等役職員 着席）	（5 分）	17:20-17:25

閉会挨拶	理事 島田 広道	17:25-17:30
------	----------	-------------

評価委員

エレクトロニクス・製造領域

委員長	氏名	所属	役職名
○	前川 禎通	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	先端基礎研究センター長
	神永 晋	SKグローバルアドバイザーズ株式会社	代表取締役
	久保 佳実	国立研究開発法人 物質・材料研究機構 ナノ材料科学環境拠点 運営総括室	室長
	小浦 節子	千葉工業大学 工学部 応用化学科	教授
	渡辺 美代子	国立研究開発法人 科学技術振興機構	副理事

所属・役職名は委員会開催時。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

平成 28 年度 研究評価委員会（エレクトロニクス・製造領域）

評価資料（主な業務実績等）

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

(1) 領域全体の概要・戦略

第5期科学技術基本計画に基づき、我が国が「超スマート社会」を世界に先駆けて実現していくための取組み（Society 5.0）が幅広く議論されている。今後は、あらゆるモノがインターネットにつながり（IoT：Internet of Things）、実空間の大量のデータをクラウド上で解析処理してフィードバックすることで、革新的なサービスを次々と創出する時代（CPS：Cyber Physical System）が予想され、その様な社会に向けた急速な変革の動きは既に始まっている。エレクトロニクス・製造領域では、このような社会の大きな変革に対応するために、IoT/CPS時代を支える超情報処理ハードウェア技術と、新たなサービスの代表例となるIoT/CPSものづくり技術の2つのテーマを中長期的な戦略課題と位置付ける。

その中で、次世代のIoT社会実現に向け必要となる技術の体系を構築することを目指し、①情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術、②もののインターネット化に対応する製造およびセンシング技術、③ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術、および④多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術、という4つの重点課題を掲げ、目的基礎から橋渡し後期研究のすべてのステージで研究開発を行っている。以上の4つの課題について、具体的な個別研究テーマならびに研究フェーズは表1の通りである。当領域のミッションは、これらの研究開発において世界をリードする成果を挙げ、以てIoT社会における我が国の産業活動の礎を築くとともに産業競争力強化に貢献することである。

当領域は3つの研究部門、4つの研究センターの計7つの研究ユニットを設置し、約300名の研究者により上記の研究開発を推進している（図1）。

また、当領域では発展的な研究の循環を支えるためのマネジメントを実施している。具体的には、研究現場からのボトムアップ提案に対する予算の付与や、領域全体の研究進捗を俯瞰した上で特定の研究内容へ投資するトップダウン型の予算付与とのベストミックスを心掛けたマネジメントである。また、研究の加速だけでなく、研究者間の新たな交流構築へ導くことで、長期的視点に立った人材育成を目指している。

表1 具体的な個別研究テーマならびに研究フェーズ

	「橋渡し」前期	「橋渡し」後期	
①	<p>電圧トルクMRAM スピントロニクス発振素子 相変化メモリ 新材料ロジックデバイス・三次元集積 超伝導量子アニーリング機械 GST(Ge-Sb-Te)テラヘルツ検出 フィールドエミッタアレイ技術 超伝導トンネル接合 強相関デバイス 新規材料・構造発光デバイス 不揮発性アナログ型抵抗変換素子</p>	<p>光情報技術(光パスイネットワーク) シリコントンネルFET 偽造防止PUF 光情報技術(シリコンフォトニクス) 超伝導検出器のアレイ化・多重読み出し技術 高移動度チャネルFET(Ge FinFET等) ウエハレベル3D実装 次世代TCAD</p>	<p>STT-MRAM カーボンナノチューブ透明電極 FPGA評価ボード 強誘電体FET SQUID搭載回路</p>
②	<p>WoM(Web of Manufacturing)-生産モデル作成技術開発 WoM-生産計測技術開発(トリリオンセンサ) 超低周波振動検出・環境発電 超高感度ウィルス検査</p>	<p>ネットワークMEMS 布への電極パターンニング法 異種材料・デバイス集積化技術 凝縮性カス導入光ナノインプリント技術 封止回路の非接触電力伝送・故障診断技術 無線pHセンサ WoM-生産計測技術(実情報-現場センサ紐付) フレキシブル熱電変換素子 ウェアラブル生体センサ技術</p>	<p>プラズモン・導波モードセンサ 高感度分光センサ WoM-生産計測技術(生産ラインのモニタリング技術)</p>
③	<p>真空中レーザー積層造形技術 複層デポジション技術 塗布型フレキシブル圧電シート 応力発光材料 印刷形成メモリ素子</p>	<p>高精度印刷技術 上流設計マネージメント 三次元積層造形技術 電解・レーザー複合加工技術 高速・低速プレス加工の複合化技術 高効率フローリアクタ 導電性伸縮性ラップフィルム</p>	<p>ミニマルファブ マイクロ・ナノ微細形成技術 厚膜高精度高均質印刷配線パターン形成 スクリーンオフセット技術</p>
④	<p>常温衝撃固化現象&常温接合メカニズムの解明</p>	<p>ハイブリッドAD(エアロゾルデポジション)法 LU(レーザー援用インクジェット)法</p>	<p>光MOD(金属有機化合物分解)法 AD(エアロゾルデポジション)法</p>

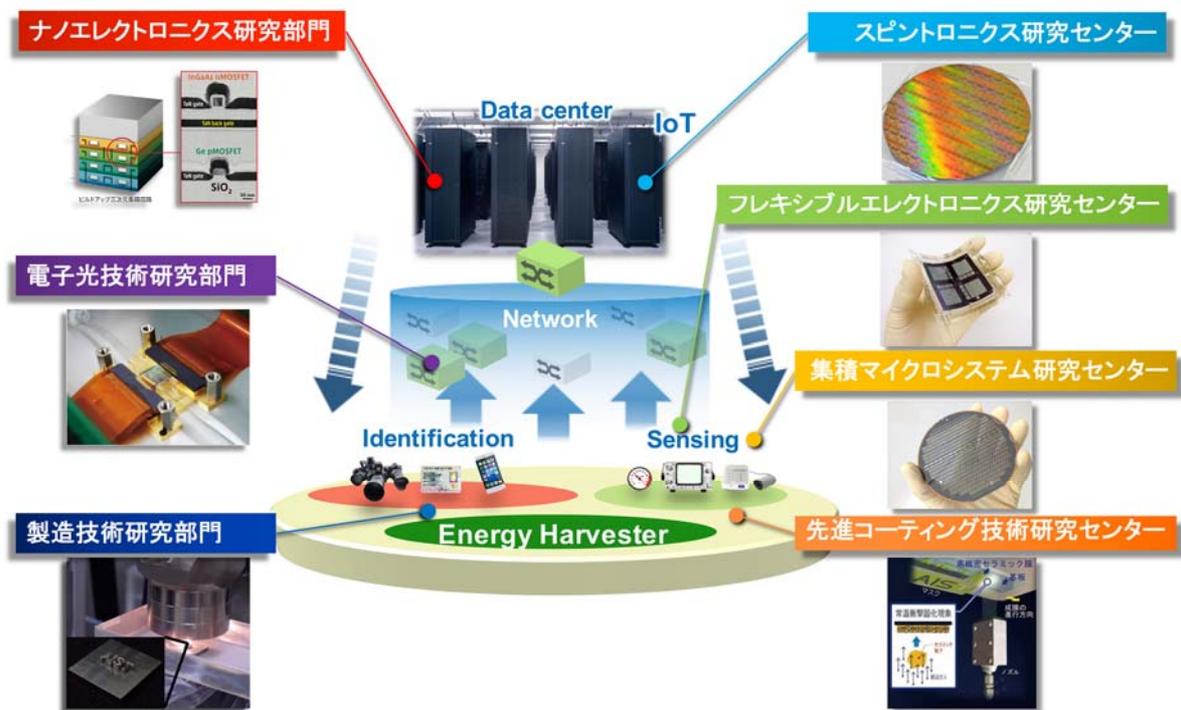


図1 IoT社会における各ユニットの位置づけ

●平成 28 年度の特筆すべき研究成果

- ・スピントロニクス発振素子で、従来の世界最高値よりも約 1 桁大きな発振出力を実現。高い Q 値 2,000 を維持して単一素子で $10\mu\text{W}$ の発振出力を達成。
- ・NEDO 事業「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」において、フレキシブルひずみセンサアレイシートを開発し、橋梁での亀裂検出の実証実験に成功。
- ・ミニマルファブ技術について、実装用装置群とプロセスを構築し、実装したデバイスを実際に動作させることに成功。また、圧力センサデバイス用等のレシピを整備。

●平成 28 年度の研究推進に伴う特筆すべき成果

- ・ミニマルファブがセミコンジャパン 2016 にて、トランジスタの試作からパッケージングまで、展示会場で実施(世界初)。また、プラットホームによる社会実装のために、一般社団法人ミニマルファブ推進機構を設立。
- ・複合ナイトライド薄膜の開発において、米国企業への特許ライセンス料が 180 万ドル(約 2 億円)となり、国内企業 1 社との折半で産総研は約 1 億円の知財収入を獲得。
- ・NEDO 事業「IoT 技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業 / IoT 技術開発加速のための設計・製造基盤開発」に採択(研究代表者:エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、2 年総額約 63 億円)。
- ・スピントロニクス研究センター長 湯浅新治が平成 28 年度 文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)を受賞。

!

(2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

当領域が持つコーティング技術のポテンシャルを生かし、「先進コーティングアライアンス」を組織化した。先進コーティングアライアンスでは、AD 法や光 MOD 法など、国際競争力のある日本独自のコーティング技術による迅速な実用化支援、バリューチェーンを統合的に見渡した国際的・戦略的なアライアンスの創出・強化を行うとともに、先進コーティングに関するグローバル産学官連携拠点の形成と国際競争力強化を目指した活動を実施している。

ミニマルファブは、10 年計画の折り返し点を迎えるにあたり民間ファウンドリ事業開始の動きを受けて、産総研九州センター、臨海副都心センターへの実機配置強化、技術研究組合の社団法人化等をさらに推進する。これにより、これまでの研究成果の迅速な普及や地域実装を進めている。

(3) マーケティング力の強化

IoT を活用したスマート製造に関して、国際標準化提案を目標として経済産業省委託事業「スマートマニュファクチャリングに関する国際標準化・普及基盤構築」を実施している。また ISO/IEC といった国際標準化団体の国内・国際委員会への委員参加を積極的に行うとともに、我が国のスマート製造を議論するロボット革命イニシアティブ協議会への委員参加や、200 社余りの会員企業を持つインダストリアルバリューチェーンイニシアティブとの連携を進めている。

データセンターでの消費電力を 1/100 に低減することを目指した IMPULSE「高電力効率大規模データ処理イニシアティブ」プロジェクトを所内大型プロジェクトとして推進してきた。その活動を基に 2030 年のデータセンターを見据えて、デバイス、通信からデータセンター、ユーザー企業まで声をかけ IMPULSE コンソーシアムの活動を平成 29 年度より開始するための準備を完了した。微細化の先のロードマップの策定や技術開発課題の抽出を行い、エレクトロニクス分野においてポストムーア時代の情報処理潮流を先導する。

知財に関しては活用戦略において、マグネシウム合金を用いた医療用器具に関するベンチャービジネスの障害となる可能性がある先行技術を抽出するために、また当領域の強みである表面機能制御技術の新規用途を抽出するために技術動向調査を行った。その他出願戦略や権利化戦略において、特許出願前の先行技術調査を 4 件、審査請求前の先行技術調査を 5 件行った。

(4) 大学や他の研究機関との連携強化

平成 28 年 10 月に産総研とともに特定国立研究開発法人となった理化学研究所と共同で、「産総研－理研 第 2 回量子技術イノベーションコアワークショップ」を開催（平成 28 年 11 月）し、研究者同士の交流を促進した。また、次世代コンピューティングの有力候補である超電導量子コンピューティング開発を目指して、NEDO 事業「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト」にて、世界トップレベルの理論研究者、材料研究者を有する理化学研究所と、世界有数の超電導デバイス開発能力を有する産総研が相互補完的に協力しながら共同研究開発を進めている。

また、当領域では、大学で培われたシーズ技術を産総研に移管し、大学シーズ技術の優位性、汎用性を明確化しブラッシュアップを行うことで、産業界への橋渡しを行う試みを行っている。例えば、革新的基礎研究力を有する東京大学および名古屋大学とは、連携研究を強力に推進する拠点としてオープンイノベーションラボラトリを大学内に設置した。また、東大柏キャンパスに、東大との連携による人工知能に関するグローバル研究拠点の設置準備を進めており、その中では IoT センサデバイスの開発を進める予定である。

クロスアポイントメント制度を活用し、現在 3 名の大学教員を名古屋大学、東北大学およ

び九州工業大学から受入れ、大学と産総研のそれぞれの強みを取り込んだ研究を実施中である。また、産総研研究員が東京大学および東北大学にて研究を展開するクロスアポイントメントも準備中である。

(5) 研究人材の拡充、流動化、育成

当領域では、高性能デバイスや革新的製造技術の開発に向けて、産総研で培った技術を社会実装するための専門人材育成を行っている。若手育成においては、産総研イノベーションスクールで、当領域で10名がトレーニングを受けている。また、リサーチアシスタント制度では修士課程14名、博士課程1名の学生が研究活動に専念し、産総研で実施されている国の研究開発プロジェクトや、民間企業との共同研究プロジェクト等に参画し、研究成果を学位論文に活かしている。

研究人材の流動化の視点では、前述したクロスアポイントメント制度やオープンイノベーションラボラトリを活用し、大学との人事交流を推進している。また、人材育成や人材交流の観点から、省庁・企業・自治体などの外部機関に出向させる機会を与えている。

第4期中長期目標期間から取り入れられた年俸制任期付研究員制度を活用して、2名の中堅研究者を採用した。文部科学省の卓越研究員事業を活用して、2名の優秀な研究者を採用した。また、ダイバーシティ推進策として、平成28年度は、女性研究者3名、外国人研究者3名を採用した。また、女子大学院生懇談会を開催(参加者65名)し、研究室見学および女性研究者との懇談を行った。

●民間からの資金獲得額の目標値と実績値

- ・目標値：12.7億円
- ・実績値：8.1億円（平成28年12月20日現在）（昨年度実績値：6.5億円）
- ・見込み：9.1億円（平成28年度末）（昨年度比140%）

●研究人材の拡充、流動化、育成

- ・産総研イノベーションスクールおよびリサーチアシスタント制度による人材育成人数
- ・目標値：14名
- ・実績値：25名（平成28年12月末現在）（昨年度実績値：15名）
- ・見込み：25名（平成28年度末）
- ・女子大学院生懇談会を開催(65名)し、研究室見学および女性研究者との懇談を実施。

●技術的指導助言等の取り組み状況

- ・技術コンサルティング制度を積極的に活用した。
- ・実績値：19社 約2,260万円（平成28年12月20日現在）（昨年度実績値：2社、1,000万円）
- ・見込み：20社 約2,400万円（平成28年度末）
- ・「先進コーティングアライアンス」を組織化し、日本独自のコーティング技術によるグローバル産学官連携拠点の形成と国際競争力強化を実施。
- ・ミニマルファブは民間ファウンドリ事業開始の動きを受けて、産総研内の実機配置強化、技術研究組合の社団法人化等をさらに推進し、要素技術の迅速な普及や社会実装を加速。

●マーケティングの取り組み状況

- ・2030年のデータセンターを見据えてIMPULSEコンソーシアムを設立し、微細化の先のロードマップ策定や技術開発課題抽出を行い、ポストムーア時代の情報処理潮流を先導する。
- ・知財に関しては、医療応用や表面機能制御の分野においてコア技術の普及に向けた技術動向調査を行うとともに、出願前の先行技術調査を4件、審査請求前の先行技術調査を5件行った。

●大学や他の研究機関との連携状況

- ・理化学研究所と共催でワークショップを開催、量子アニーリング機械実現に向け、共同でNEDO事業「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」を推進。
- ・名古屋大学、東京大学にオープンイノベーションラボラトリを開設し、大学内技術シーズとの異分野融合や橋渡し研究を加速。
- ・東京大学との連携による人工知能に関するグローバル研究開発拠点を東京大学柏キャンパス内に設置準備中。
- ・クロスアポイントメント制度にて、名古屋大学、東北大学、九州工業大学教員が産総研にて研究推進。産総研から大学へのクロスアポイントメントを準備中(東京大学、東北大学)。
- ・海外の大学/研究機関と14件の国際共同研究を実施。
- ・共同研究数(国内：大学224件、研究独法31件、国外：大学9件、研究機関5件)

●国際標準化活動の取り組み状況

- ・経済産業省委託事業「スマートマニュファクチャリングに関する国際標準化・普及基盤構築」を受託。
- ・スマートマニュファクチャリング国際標準化専門委員会にメンバーとして参加。ロボット革命イニシアティブ協議会への委員参加や、200社余りの会員企業を持つインダストリアルバリューチェーンイニシアティブとの連携を実施。
- ・国際標準化委員49人(ISO委員13人、IEC委員33人、SEMI委員3人)

●中堅・中小企業の資金提供を伴う研究契約件数の大企業に対する比率

- ・実績値：39.3% (平成28年12月現在)、中小企業48件、大企業122件
- ・昨年度：42.7% (平成28年3月実績)、中小企業50件、大企業117件

●TIAオープンイノベーション拠点に対する貢献

- ・世界トップの超電導デバイスプロセス技術を有する超電導アナログ-デジタル計測デバイス開発拠点を運営し、国内：13大学、7研究独法、6企業、国外：2大学、2研究機関、3企業に対し技術提供。
- ・JST事業に基づいて設立したナノテクキャリアアップアライアンスの活動としてセミナーコースを3回開催し13名に修了証を授与(昨年度実績値：2回、4名)。
- ・日本・アジア青少年サイエンス交流事業である「さくらサイエンスプラン」ではタイの若手研究者を10日間に渡り5名受け入れ、MEMSの実習および講座を実施(昨年度実績値：10名)。
- ・「TIA連携大学院サマー・オープン・フェスティバル」では企業や大学等から合計12名の参加。これまでの受講者は100名以上。
- ・NEDO事業「IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業/IoT技術開発加速のための設計・製造基盤開発」に採択(研究代表者：エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、2年総額約63億円)。
- ・ナノエレクトロニクス・ナノマテリアル等の研究開発の推進に必要な、先端機器を産学官の研究者および技術者に提供することを目的とするナノプロセッシング施設(NPF)の管理・運営に貢献。

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

●平成 28 年度の具体的な研究開発成果

【スピントロニクス（電圧トルク MRAM、スピントロニクス発振素子）】

スピントロニクス技術を活用し、次世代不揮発メモリとして電圧トルク MRAM と、高周波発振素子として自己発振により機器の大幅な小型化が実現できるスピントロニクス発振素子の開発を進めている。電圧トルク MRAM では、実用素子としては世界最高の電圧磁気異方性変化（400 fJ/Vm 超）および 10^{-5} の書き込みエラー率を実現した。さらに、書き込み前後に逆極性の電圧を印加して書き込みエラー率をさらに 2 桁改善する新書き込み方式を考案した。スピントロニクス発振素子では、Q 値 2,000 以上を維持しながら、単一素子で 10 μ W という、従来の世界最高値よりも約 1 桁大きな発振出力を実現し、高周波発振素子の実用化に向けて大きく前進した。

【新型メモリ/ロジック（相変化メモリ、新材料ロジックデバイス・三次元集積）】

大規模化するデータに対応して高性能な情報処理を高エネルギー効率で行うための技術として、ギガバイトクラスの集積度を持つ相変化メモリ技術、シリコン MOSFET の駆動力省エネ性を超えるロジックデバイス技術、これらを三次元集積する技術を開発している。相変化メモリについて、超格子型材料を用いて 100 nm 以細のメモリセルを作製し、1 V 以下の低電圧スイッチングおよびトポロジカル相転移を示唆するバイポーラ動作を実現した。ロジックデバイス向けの Ge FinFET について、中性粒子ビーム加工による無損傷な Ge Fin 形成に成功し、従来の Si FinFET より高いオン電流を達成した。また、Si トンネル FET に等電子トラップを導入することにより n 型/p 型素子双方の性能向上と世界で初めて集積回路動作の速度向上を実現した。3 次元集積について、積層したシリコンを貫通する電極（TSV）における材料・プロセスと熱応力との関係を試作とシミュレーションにより明らかにした。

【新型コンピューティング用新デバイス（超伝導量子アニーリング機械、不揮発性アナログ型抵抗変化素子）】

ノイマン型コンピューティングが苦手とする組み合わせ最適化問題を超高速・超高効率に解ける超伝導量子アニーリング機械の開発を進めている。量子アニーリングチップの大規模集積に適した新規アーキテクチャおよび独自ハードウェア構造を提案した。また、超伝導量子回路用シミュレーションモデルを構築し、3 量子ビット論理ゲート回路設計により有効性を実証した。脳型情報処理に用いる不揮発性アナログ型抵抗変化素子に関して、低消費電力動作において抵抗変化ダイナミックレンジを 3 桁以上にすることに成功した。また、幅広い電流レンジでノイズを計測する手法を開発し、抵抗変化素子に用いる機能性酸化物材料の酸素欠損が素子の動作電力に与える影響を明らかにした。

【Web of Manufacturing - 生産モデル作成技術開発、生産計測技術開発】

広範囲に分散した製造設備や労働力を柔軟かつ効率的に活用し、製造設備ネットワーク全体として高い付加価値を創出することが可能となる製造網（Web of Manufacturing）の実現を目指している。機能・構造・生産管理といった各階層のモデルで扱うデータの分類とそれらの関係性を整理し、工場の管理者等が知りたい指標を生産現場のデータから類推するための評価プロセスを考案した。具体的には、病院の熱源施設管理を例とし、管理のためにモニタリングしなければならない項目を容易に明確化できることを示し、設備モニタリングシステムの構築を支援する基本フレームを提示した。一方、生産計測技術について、工場内の静電気の発生による作業の遅延問題について、間接モニタリングを生産ラインに導入する検討を企業担当者を行っている。

【超高感度ウイルス検査】

既存のウイルス検査方法では感度や測定に手間がかかる等の問題があり、世界の物流や交通規模の拡大等により予測されている爆発的な感染症拡大のリスクに対応できない。既存検

査方法より簡便・高感度な手法の確立が急務である。そこで、検出対象のウイルスに磁気微粒子と光を散乱する微粒子を付着させ、磁石と近接場光により「動く光点」を作って検出を行うことにより、夾雑物が多い試料から極めて低濃度のウイルスを簡単な操作だけで検出できるセンサを開発した。この手法により、都市下水の二次処理水 200 μ l にノロウイルス様の粒子約 80 個を混入（濃度 10 fg/ml 程度）させた試料中からウイルス様粒子の検出に成功した。洗浄工程を省略しても、免疫アッセイを用いた従来法より数桁高い感度で検出できた。

●テーマ設定の適切性

目的基礎研究においては、2030 年以降の高効率社会を目指し、機器の性能・機能、および製造技術の効率性（低コスト、高レジリエント）を革新的に向上し得る研究テーマを設定している。

課題①では、超低消費電力かつ高集積度を具現化できる相変化メモリ技術、新材料ロジックデバイス技術、これらを三次元集積する技術開発を推進中である。また、通常の CMOS 集積回路では実現できない新規の情報処理技術を創出するために必要となる新材料技術および新原理デバイス技術の開発も進めている。課題②では、製造レジリエンス強化と産業競争力強化を目指した製造網（Web of Manufacturing）の実現を目指し、過酷環境下等、定常的モニタリングが困難とされてきた状況でも適用可能な計測技術や、設備へのセンサ後付けなどによる比較的簡便に収集したデータ群から設備状況に関わる情報を導出する間接モニタリング技術の開発を進めている。また、世界の物流や交通規模の拡大、地球温暖化に伴い、感染症の爆発的な拡散や、広範囲にわたる食中毒などのリスクは増大している。このリスクに対応するため、簡便で超高感度なウイルスセンサの研究を進めている。

●大学や他の研究機関との連携状況

- ・名古屋大学、東京大学に共同ラボを開設し、大学内技術シーズとの異分野融合や橋渡し研究を加速。
- ・東京大学柏キャンパスにて、人工知能に関するグローバル研究開発拠点の設置準備。
- ・クロスアポイントメント制度にて、名古屋大学(制度第一号)、東北大学、九州工業大学教員が産総研にて研究推進。一方、産総研から大学へのクロスアポイントを準備中(東京大学、東北大学)
- ・海外の大学/研究機関と 14 件の国際共同研究を実施（昨年度実績値 18 件）。
- ・理化学研究所と共催でワークショップを開催、量子アニーリング機械実現に向け共同研究として NEDO 事業「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト」を実施。
- ・共同研究数（国内：大学 224 件、研究独法 31 件、国外：大学 9 件、研究機関 5 件）

●論文の合計被引用数

- ・目標値：6,800 件（昨年度実績値 6,699 件に対し 101 件増の目標）
- ・実績値：6,327 件（平成 28 年 12 月現在での合計引用数）
- ・見込み：6,800 件（平成 28 年度末）

●論文数

- ・目標値：400 報（昨年度実績値 345 件に対し 55 件増の目標）
- ・実績値：178 報（平成 28 年 12 月現在での既発表数）
- ・見込み：360 報（平成 28 年度末）

●「橋渡し」につながる基礎研究推進に伴い得られた各種成果

- ・スピントロニクス研究センター長 湯浅新治が平成 28 年度 文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）を受賞「巨大トンネル磁気抵抗効果の研究」。
- ・ナノエレクトロニクス研究部門首席研究員 富永淳二が平成 28 年度 本多フロンティア賞を受賞「低消費電力型超格子相変化メモリの開発と、そのトポロジカル物性の発見」。

- ・スピントロニクス研究センターにおいて、産総研オリジナル提案技術である物理乱数発生器「スピンドイス」の論文が第 38 回応用物理学学会優秀論文賞を受賞。
- ・IF10 以上の論文誌 (Nature Nanotechnology、Nature Communications、Nature Materials、Nano Letters) に 8 報掲載。

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

●平成28年度の具体的な研究開発成果

【光情報技術（光パスネットワーク）】

シリコンフォトンクス技術を中核として、ネットワークのエネルギー効率を 3~4 桁高める光パスネットワーク技術の開発と普及を目指している。文科省委託事業「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」において、産総研臨海副都心センターと東京大学等を結んだダイナミック光パスネットワークの都内テストベッドを構築し、実運用を開始した。シリコンフォトンクススイッチを標準ブレード型装置として実装し、ダイナミック光パスネットワークでの実使用試験を行った。また、事業化検討の段階を越え、波長選択スイッチおよびロボットの視覚装置への適応も含めた偏向素子技術をコアとするベンチャー企業を設立した。平成 27 年度に発足した産総研コンソーシアム PHOENICS では、民間企業と連携してハイブリッド集積デバイスの試作・評価を行った。NEDO 事業「超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発」では、ポリマー導波路による光エレ実装基板の試作を進め、シリコンチップを実装し評価を行った。

【ネットワークMEMS】

無線センサネットワークを活用して道路インフラの状態を常時・継続的・網羅的に把握することを可能とする道路インフラモニタリングシステムと、ライフライン系の都市インフラを支えるモーター・ポンプ・圧縮機等の動力機器の健全性モニタリングの実現を目指している。NEDO 事業「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」において、 1×10^{-6} の高感度極薄 PZT/Si をポリエチレンナフタレートシートに 25 個集積化したひずみセンサアレイシートと太陽光発電駆動通信モジュールからなる無線センサ端末複数台を受信機と組み合わせたセンサネットワークシステムのプロトタイプを完成した。このシステムを阪神高速の橋梁に社会実装し、車両通過時のひずみ分布から、亀裂が発生した箇所の異常検出を、実証実験において成功した。

また、高性能 AlN 系圧電 MEMS 振動発電デバイス、超低電力アナログ回路、通信回路を集積化した直径 25 mm 程度の自立電源超小型無線振動センサ端末を開発し、晴海の熱供給システムに社会実装して実ポンプの微弱振動を検出することに成功した。

【高精度印刷技術】

任意箇所設置型の次世代情報端末機器として期待の高いフレキシブルデバイスを、高効率・高生産性、カスタマイズ生産する技術として、印刷法を駆使してデバイスを製造する印刷デバイス製造技術の開発を目指している。フレキシブルデバイスの高効率カスタマイズ製造技術として、表面コートのみで高精細パターンニングを可能とする印刷製造技術および光直描その場製版技術、光プラズマ混合焼成技術等の開発に成功し、フィルム基板上にサブミクロン台の高精細配線回路の高速形成に成功した。高精度フレキシブルアライメント技術の開発により、フィルム基板上に $\pm 2 \mu\text{m}$ 以内の精度 (7 ppm) でパターンニングする技術の開発に成功した。これら印刷製造技術を適応して、温度および圧力の面分布情報を同時検出可能なフレキシブル多機能検出シートセンサーを実現させることに成功した。

【三次元積層造形技術】

積層造形技術について、高速化、高精度化、傾斜構造化等プロセスの高度化を行うとともに、原料粉末特性と造形物特性の関連を明らかにし、適用材料の多様化および積層造形の応用分野拡大に寄与するために、技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) が経産省より委託を受けて砂型と金属積層造形技術開発を推進している。金属積層造形物の信頼性確保に対応するために、表面波を利用したインプロセスで内部欠陥が検出できる新た

な手法を開発した。材料多様化に向け、積層造形用の材料として、ヘテロ凝固核による結晶制御等に関する研究を開始し、JST 事業「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」と「先端的低炭素化技術開発」に採択された。砂型積層造形では高速大型装置を開発、先行して小型装置と人工砂材料を実用化し、自動車、航空機部材開発に活用している。

【構想設計プロセスの可視化と制御（上流設計マネージメント）】

構想設計プロセスの可視化と制御の目的のために産総研独自開発の関係性記述ソフトであるデザインブレインマッピングツールの機能を進化させ、2回のバージョンアップを実施、産業技術連携推進会議デザイン分科会のネットワークを元に山口県と広島県の公設試との連携により地域企業での実証を行った。設計検討の場の可視化と制御の目的のためのブレインストーミングシステムのプロトタイプを開発し、構想設計コンソーシアムの企業を中心に試行としての導入およびプロセスの検証を行い、実効性のある手法の体系化を開始した。

●テーマ設定の適切性

橋渡し研究前期では、IoT 社会実現に不可欠な要素技術（ネットワーク、センシング等）の2020年以降での実用に向け、産業界のニーズを的確にとらえ、産業界とともに産総研が強みを有する技術シーズを中核とした国プロ等で課題解決を目指していく研究テーマを設定している。

課題①では、増大する情報通信量を低エネルギー消費で取り扱うことのできる光パステットワーク技術の開発を進めている。課題②では、社会インフラや産業インフラの保守や点検等に資するため、ひずみ、振動、温度など複数のセンシングと通信機能を集積化したネットワーク MEMS システムの開発、エレクトロニクス/MEMS の変量多品種オンデマンド生産技術として印刷デバイス製造技術、フレキシブルで高効率なマイクロナノレベルの製造技術、それらの技術を活用して、大面積フィルムデバイスの開発を進めている。課題③では、産業や社会の多様なニーズに対応した製品を省エネ、省資源、低コスト、かつ高付加価値化を可能とする積層造形技術および、顧客価値の高い製品・システムの開発を可能にするために、複数業種の民間製造企業における共通問題を抽出し、デライト設計の質向上を実現する上流設計マネージメント環境を構築することをテーマとしている。

●戦略的な知的財産マネージメントの取り組み状況

- ・医療応用や表面機能制御の分野においてコア技術の普及に向けた技術動向調査を行うとともに、出願前の先行技術調査を4件、審査請求前の先行技術調査を5件行った。
(1. (3) に詳細を掲載)

●知的財産創出の質的量的状況

- ・目標値：180件（昨年度実績値167件に対し13件増の目標）
- ・実績値：150件（平成28年12月現在での契約済み件数）
- ・見込み：162件（平成28年度末）

●公的外部資金獲得状況

- ・NEDO 事業「IoT 技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業／IoT 技術開発加速のための設計・製造基盤開発」に採択
(研究代表者：エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、2年総額約63億円)。
- ・平成28年度推進中の大型国プロ件数：13件
- ・平成28年度公的資金獲得額：30.8億

●「橋渡し」研究前期における研究開発推進加速に向けた取り組み

- ・ミニマルファブ技術研究組合（ミニマルファブ）、次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合（JAPER）、NMEMS 技術研究機構（NMEMS）、光電子融合基盤技術研究所（PETRA）、

次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) の 5 つの技術研究組合に参画、産業界とともに研究を推進(産総研全体では 22 組合)。中でも、ミニマルファブ、JAPER A では産総研が中核。

- ・産総研シリコンフォトニクス関連研究を中核とし、産総研コンソーシアム制度を活用し、光デバイス関連企業 11 社と連携体制を構築し、散在する光デバイス技術を集約し日本の国際競争力を維持する持続発展可能なエコシステムの構築に向けた取り組みを推進。
- ・高電力効率大規模データ処理ハードウェアに関して、産学官の関係機関が社会・産業ニーズの変化と技術動向を踏まえたロードマップを議論し共有する場を提供することを通じて、エネルギーに制約されずにデータを利活用できる社会の実現を先導することを目的とした、新規産総研コンソーシアム (IMPULSE) の平成 29 年 4 月 1 日設置に向けた準備を完了。

●TIA オープンイノベーション拠点に対する貢献

- ・世界トップの超電導デバイスプロセス技術を有する超電導アナログ-デジタル計測デバイス開発拠点を運営し、国内：13 大学、7 研究独法、6 企業、国外：2 大学、2 研究機関、3 企業に対し技術提供。
- ・JST 事業に基づいて設立したナノテクキャリアアップアライアンスの活動としてセミナーコースを 3 回開催し 13 名に修了証を授与 (昨年度実績値：2 回、4 名)。
- ・日本・アジア青少年サイエンス交流事業である「さくらサイエンスプラン」ではタイの若手研究者を 10 日間に渡り 5 名受け入れ、MEMS の実習および講座を実施 (昨年度実績値：10 名)。
- ・「TIA 連携大学院サマー・オープン・フェスティバル」では企業や大学等から合計 12 名の参加。これまでの受講者は 100 名以上。
- ・NEDO 事業「IoT 技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業/IoT 技術開発加速のための設計・製造基盤開発」に採択 (研究代表者：エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、2 年総額約 63 億円)。
- ・ナノエレクトロニクス・ナノマテリアル等の研究開発の推進に必要な、先端機器を産学官の研究者および技術者に提供することを目的とするナノプロセッシング施設 (NPF) の管理・運営に貢献。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

●平成 28 年度の具体的な研究成果

【ミニマルファブ】

極小規模で半導体製造工場を形成し、少量の半導体チップを低コストかつ短期間で製造可能にするミニマルファブシステムの研究開発を進めている。今年度は特に、デバイスを作り込んだハーフインチウェーハを BGA(Ball Grid Array)により実装するための装置群とプロセスを構築し、実装したデバイスを実際に動作させることに成功した。また、ミニマルエッチング装置を用いて世界最高レベルの高精細立体微細化構造形成に成功した。さらに、ミニマルファブを用いたデバイス開発の普及に向けて、イメージセンサへ応用可能な真空電子源の作製レシピや、MEMS 深掘りと TiN ゲートトランジスタを融合した圧力センサ作製レシピなどを整備した。

【先進コーティング技術 (AD 法および光 MOD 法)】

多様化するあらゆるニーズに応えるコーティング技術の開発を目指して研究を行っており、特にセラミックスの常温コート技術などに強みを有している。今年度、AD 法に関してはプラズマ援用効果や原料粉末条件を検討し、原料粉末利用効率を従来比で 10 倍以上向上させるとともに、コスト面でも改善を図った。パワーデバイス用高熱基板や Li 蓄電池など、エネルギー関連デバイス応用に関して、民間企業と本格的な共同開発を開始した。また、AD 法により液体電解質並みのイオン電導率の単結晶固体電解質の高速育成に成功した。更に、常温電極を形成し、実用的な充放電特性をもつ全固体電池の試作に世界で初めて成功した (プレス発

表済み、平成 29 年 2 月 1 日)。

民間企業に技術移転した AD 法を用いた広走査角メタル光スキャナー技術を応用し、人感検知センサの開発に成功するとともに（共同プレス発表（平成 28 年 12 月 21 日）、CES2017 で公開）、自動運転用 3 次元 LiDAR への応用について検討を開始した。

光反応コーティングプロセス（光 MOD 法）では、高感度センサや電子部品および発光部材に対して新規波長を用いた照射システムを開発し、有機 EL や太陽電池部材を用いて有効性を確認した。LED 対応蓄光フィルムについて従来の 2 倍の時間発光可能なフィルムを開発するとともに、紫外線励起安全標識の開発では従来の 2 倍の輝度を達成した。

光化学修飾法では、新照射システムを構築し、電子部品プロセスの短縮と異種材料接合強度の目標値(0.7 N/mm)を達成した。

【複合ナイトライド薄膜の開発（Web of Manufacturing - 生産計測技術（生産ラインのモニタリング技術））】

窒化アルミニウム (AlN) 薄膜は、スマートファンやタブレットなどの高周波フィルタの圧電材料として非常に適しているが、圧電性能が低く省電力化が困難であるため、その特性の改善が求められている。そこで、AlN の圧電性能を高めるための研究を進めたところ、スカンジウム (Sc) の添加によって飛躍的に圧電性能が向上することを発見した。半導体プロセスが利用できるために、次世代の高周波フィルタへの応用が期待されており、また IoT やスマートマニュファクチャリングなどのセンサネットワークの実現を支える電源としても利用できる可能性がある。また、この成果を基にした新たな材料開発として、レアアース未添加での窒化物で世界最高水準の圧電性能を実現し、プレス発表を行った。

●民間からの資金獲得額の目標値と実績値

- ・ 目標値：12.7 億円
- ・ 実績値：8.1 億円（平成 28 年 12 月 20 日現在）（昨年度実績値：6.5 億円）
- ・ 見込み：9.1 億円（平成 28 年度末）（昨年度比 140%）

●中堅・中小企業の資金提供を伴う研究契約件数の大企業に対する比率

- ・ 実績値：39.3%（平成 28 年 12 月現在）、中小企業 48 件、大企業 122 件
- ・ 昨年度：42.7%（平成 28 年 3 月実績）、中小企業 50 件、大企業 117 件

●「橋渡し」研究後期における研究開発推進加速に向けた取り組み

- ・ ミニマルファブをセミコンジャパン 2016（平成 28 年 12 月 14 日～16 日、東京ビッグサイト）に出展。72 台のミニマル装置群を会場へ搬入し、pMOSFET の試作からパッケージングおよび動作確認まで展示会場で実施するという世界初のトライアルに成功。3 日間での来場者は約 4,000 名。また、3 社がミニマルファブファンダリビジネスを開始した。さらに、ミニマルファブの社会実装のために、一般社団法人ミニマルファブ推進機構を設立した。
- ・ 先進コーティング技術について、一般社団法人日本ファインセラミックス協会と連携し、先進コーティング技術アライアンスを設立。出口戦略に基づくバリューチェーン構築を目指し、川上産業から川下産業まで幅広い 42 社が参画する活動を開始。また、内閣府 SIP プロジェクトにおいて、プロジェクトの成果を第三者にも幅広く展開するコーティング拠点を設定。

●「橋渡し」研究後期における研究開発推進に伴い得られた各種成果

- ・ 複合ナイトライド薄膜の開発では、米国企業への特許ライセンス料が 180 万ドル（約 2 億円）となり、国内企業 1 社との折半で産総研は約 1 億円の知財収入を獲得。
- ・ 製造技術研究部門において、2016 年度グッドデザイン賞を受賞「エンドユーザ向けソフトウェア開発環境 [MZ Platform]」。
- ・ 製造技術研究部門において、平成 28 年度塑性加工学会 技術開発賞を共同研究先と共同受賞「ナノ精度デジタルクリアランス調整による金属箔打抜き技術の開発」。

●産総研開発ベンチャー

- ・今年度にベンチャー2件を設立（株式会社計算熱力学研究所、株式会社 SteraVision）。
- ・産総研ベンチャータスクフォース事業にて、1社設立準備中。

●戦略的な知的財産マネジメントの取り組み状況

- ・医療応用や表面機能制御の分野においてコア技術の普及に向けた技術動向調査を行うとともに、出願前の先行技術調査を4件、審査請求前の先行技術調査を5件行った。
(1.(3)に詳細を掲載)

3. 前年度評価コメントへの対応

(1) 領域の対応状況

コメント(マーケティング力の強化)

マーケティングの最も重要な使命は、目標あるいはテーマの設定にある。研究開発を始める段階で役に立つ真のマーケティング力を育成してほしい。また、外部関係者との情報交換・議論をすることを勧める。

対応状況

社会動向、ビジネス動向、技術動向、等に基づいて将来技術のあるべき姿を見極めるためのマーケティングとして下記の取り組みを行った。

個別企業訪問、展示会出展への来訪、テクノブリッジフェア、等をきっかけに各企業に対して数～数10回の技術打合せや技術交流会を開催し、共同でロードマップを作成し、その分析に基づいてテーマを設定や共同研究を実施した。

データセンターでの消費電力を1/100に低減することを目指した所内大型プロジェクトとしてIMPULSE「高電力効率大規模データ処理イニシアティブ」プロジェクトを推進してきた。その活動を基に2030年のデータセンターを見据えて、デバイス、通信からデータセンター、ユーザー企業まで声をかけIMPULSEコンソーシアムを設立した。微細化の先のロードマップの策定や技術開発課題の抽出を行い、エレクトロニクス分野においてポストムーア時代の情報処理潮流を先導する。

IoTを活用したスマート製造に関して、国際標準化提案を目標として経済産業省委託事業「スマートマニュファクチャリングに関する国際標準化・普及基盤構築」を実施している。またISO/IECといった国際標準化団体の国内・国際委員会への委員参加を積極的に行うとともに、我が国のスマート製造を議論するロボット革命イニシアティブ協議会への委員参加や、200社余りの会員企業を持つインダストリアルバリューチェーンイニシアティブとの連携を進めている。

(2) ユニット毎の対応状況

【ナノエレクトロニクス研究部門】

コメント(「橋渡し」研究後期における研究開発)

ミニマルファブは、大量生産性でなく超小型生産システムの創造に向けて推進し、デバイス実証することが重要。

対応状況

ミニマルファブでは、装置・プロセスの開発を主に担当するミニマルシステムグループに加え、特徴ある高付加価値デバイスの作製するカスタムデバイスグループを置き、有効性の実証を行っている。また、ミニマルファブ社会実装に関しては、民間企業3社がミニマルファブファンダリビジネスを開始し、併せて一般社団法人ミニマルファブ推進機構を設立した。さらに、ミニマルファブの幅広い実用化に向けた実証支援のために、産総研臨海副都心セン

ターに、ミニマル実装プラットフォームの構築準備を進めている。

【先進コーティング技術研究センター】

コメント(「橋渡し」研究後期における研究開発)

市場調査を行いさらなる強みを深めるための、研究の要否に関する検証とアプリケーションを広範囲に開拓して頂き、企業連携を進めるための戦略を考えて頂きたい。

対応状況

AD 法や光 MOD 法など、その特徴を幅広い用途で客観的に評価し、競争力のある製品開発を実現するために、一般社団法人日本ファインセラミックス協会と連携し先進コーティング技術アライアンスを設立した。本アライアンスでは、川上企業から川下企業までの多種多様な企業 42 社が参画し、マーケット調査に基づく出口戦略を策定し共有する活動を行っている。また、内閣府 SIP プロジェクトを通して、研究成果を第三者に幅広く展開するコーティング拠点を設立した。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
平成28年度 研究評価委員会
(エレクトロニクス・製造領域)

説明資料

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
エレクトロニクス・製造領域

目次

1. 領域の概要と研究開発マネジメント
 - (1) 領域全体の概要・戦略
 - (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施
 - (3) マーケティング力の強化
 - (4) 大学や他の研究機関との連携強化
 - (5) 研究人材の拡充、流動化、育成

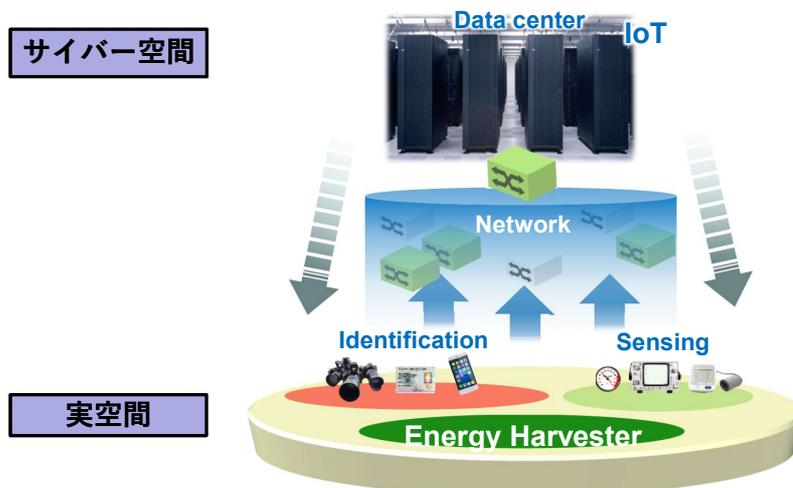
2. 「橋渡し」のための研究開発
 - (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
 - (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
 - (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

3. 前年度評価コメントへの対応

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

背景

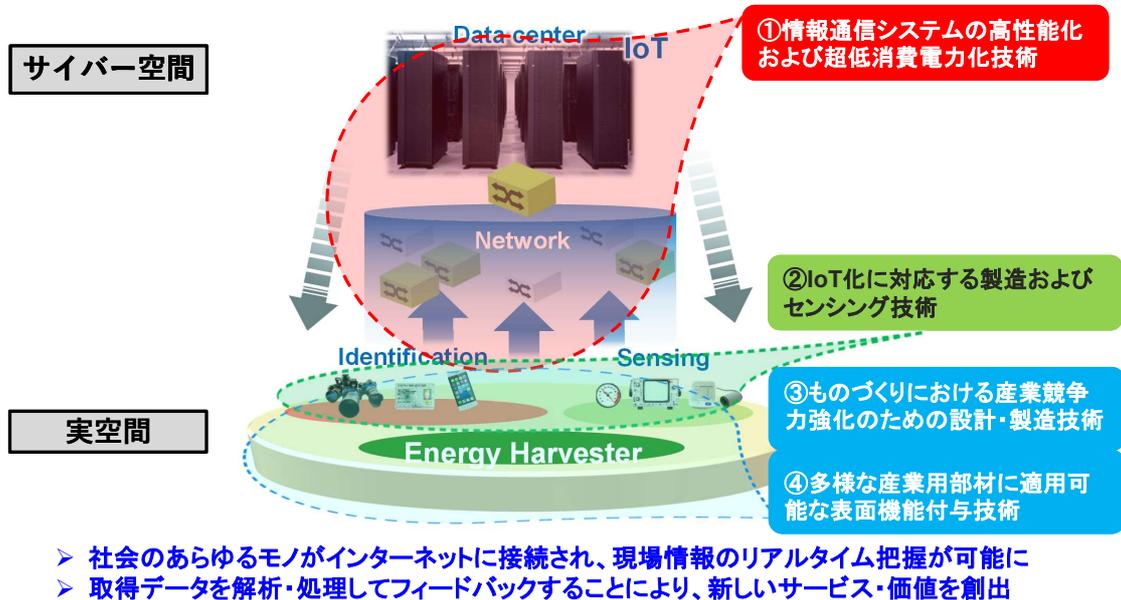
Internet of Things (IoT)時代の新たな価値の創造



- 社会のあらゆるモノがインターネットに接続され、現場情報のリアルタイム把握が可能に
- 取得データを解析・処理してフィードバックすることにより、新しいサービス・価値を創出

第4期の重点化課題

Internet of Things (IoT)時代の新たな価値の創造



第4期の重点化課題と目標

① 情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術

- ✓ 情報データの処理量や通信量の増加に対応するため、省電力で高性能なIT機器を実現する情報処理・記憶デバイス技術とその集積化技術、あるいはフォトニクス関連技術等を開発
- ✓ 更なる高性能化に向けたポストスケール集積化技術の確立や新しい情報処理技術を創出

② IoT化に対応する製造およびセンシング技術

- ✓ 製造レジリエンス強化と産業競争力強化を目指した製造網 (Web of Manufacturing) を実現
- ✓ 社会インフラの維持管理を効率化・高度化を可能とする新たなセンシング技術、センサネットワーク技術、収集データ利用技術などを開発

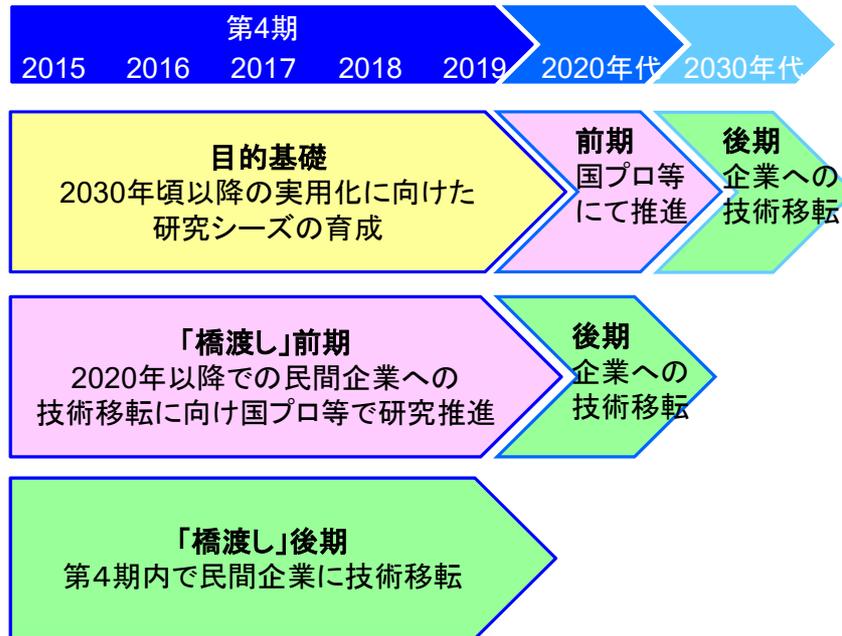
③ ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術

- ✓ 産業や社会の多様なニーズに対応した製品を省エネ、省資源、低コストで製造するために、設計マネジメント技術、印刷デバイス技術、ミニマルファブ技術、積層加工技術などを開発

④ 多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術

- ✓ 製品の更なる高付加価値化を目指し、高機能フレキシブル電子材料等の新材料、機能発現形成型技術等を開発
- ✓ パワーモジュール、燃料電池、構造材料等、種々の産業用部材、基材に対し自在なコーティングを可能とするために、コーティング技術を高度化

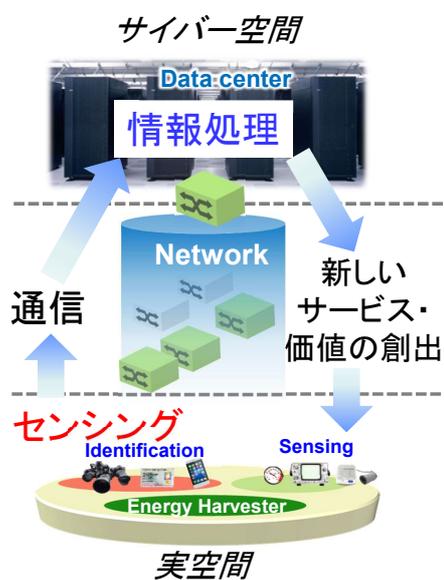
研究フェーズ毎のロードマップ



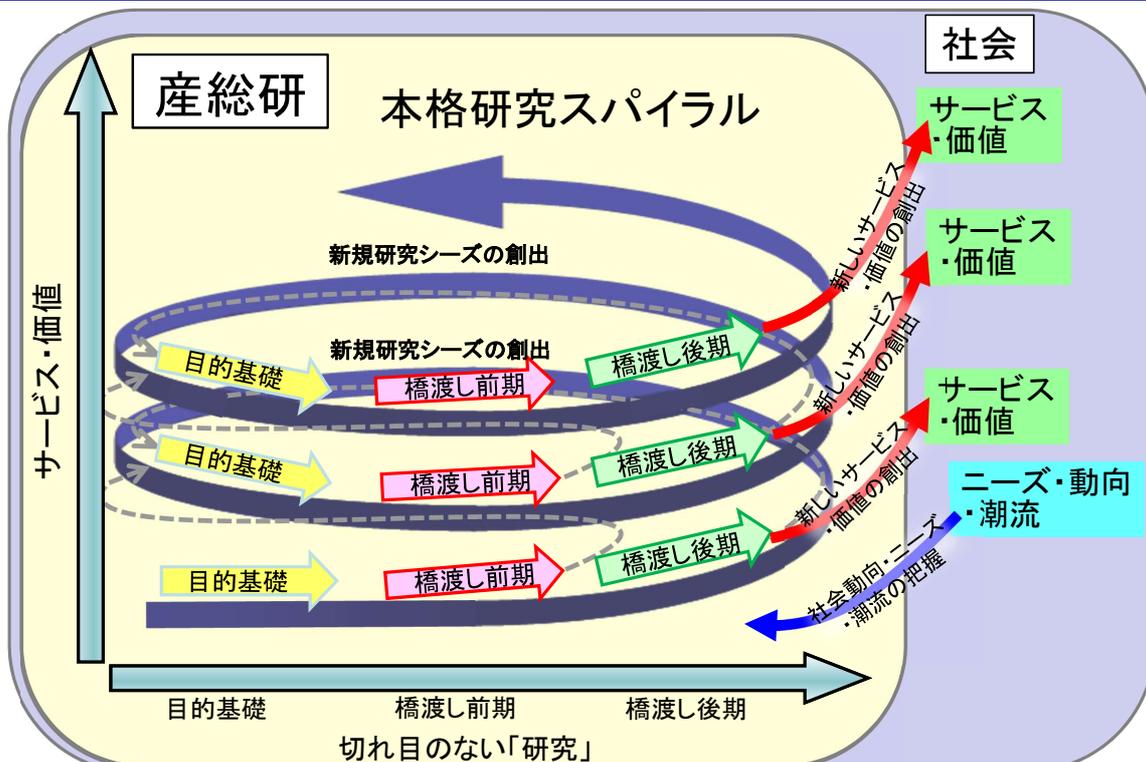
技術ポートフォリオ

	目的基礎	「橋渡し」前期	「橋渡し」後期
①	電圧トルクMRAM スピントロニクス発振素子 相変化メモリ 新材料ロジックデバイス・三次元集積 超伝導量子アニーリング機械 GST (Ge-Sb-Te) テラヘルツ検出 フィールドエミッタレイ技術 超伝導トンネル接合 強相関デバイス 新規材料・構造発光デバイス 不揮発性アナログ型抵抗変化素子	光情報技術(光バスネットワーク) シリコントンネルFET 偽造防止PUF 光情報技術(シリコンフォトニクス) 超伝導検出器のアレイ化・多重読み出し技術 高移動度チャネルFET (Ge FinFET等) ウエハレベル3D実装 次世代TCAD	STT-MRAM カーボンナノチューブ透明電極 FPGA評価ボード 強誘電体FET SQUID搭載回路
②	WoM(Web of Manufacturing)-生産モデル作成技術開発 WoM-生産計測技術開発(トリリオンセンサ) 超低周波振動検出・環境発電 超高感度ウイルス検査	ネットワークMEMS 布への電極パターニング法 異種材料・デバイス集積化技術 凝縮性ガス導入光ナノインプリント技術 封止回路の非接触電力伝送・故障診断技術 無線pHセンサ WoM-生産計測技術(実情報-現場センサ紐付) フレキシブル熱電変換素子 ウェアラブル生体センサ技術	プラズモン・導波モードセンサ 高感度分光センサ WoM-生産計測技術(生産ラインのモニタリング技術)
③	真空中レーザー積層造形技術 複層デポジション技術 塗布型フレキシブル圧電シート 応力発光材料 印刷形成メモリ素子	高精度印刷技術 上流設計マネージメント 三次元積層造形技術 電解・レーザー複合加工技術 高速・低速プレス加工の複合化技術 高効率フローリアクタ 導電性伸縮性ラップフィルム	ミニマルファブ マイクロ・ナノ微細形成技術 厚膜高精細高均質印刷配線パターン形成 スクリーンオフセット技術
④	常温衝撃固化現象&常温接合メカニズムの解明	ハイブリッドAD(エアロゾルデポジション)法 LJ(レーザー援用インクジェット)法	光MOD(金属有機化合物分解)法 AD(エアロゾルデポジション)法

平成28年度研究成果トピックス



目的基礎	「橋渡し」前期	「橋渡し」後期
スピントロニクス 発振素子、電圧 書込型MRAM		
相変化メモリ		
超高感度 ウイルス検査	ネットワーク MEMS 高精度 印刷技術	IoT・スマートマ ニュファクチャリ ング用センサ AD法・光MOD法

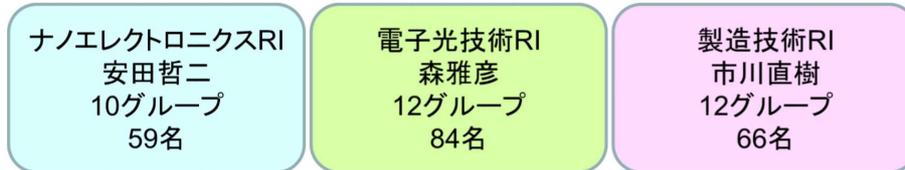


研究開発実施体制

- 領域長: 金丸 正剛
- 研究戦略部長: 原市 聡
- 研究企画室長: 昌原 明植
- 研究者数: 研究者(常勤)288名、特別研究員23名、招聘研究員30名、RA15名、計356名
- 研究センター(Research Center)

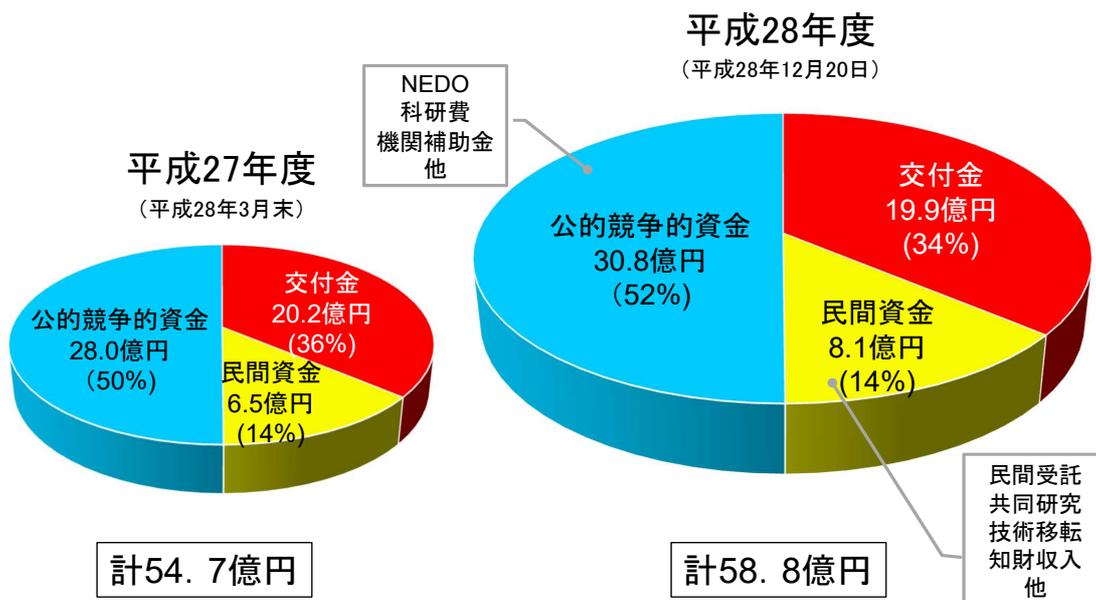


- 研究部門(Research Institute)



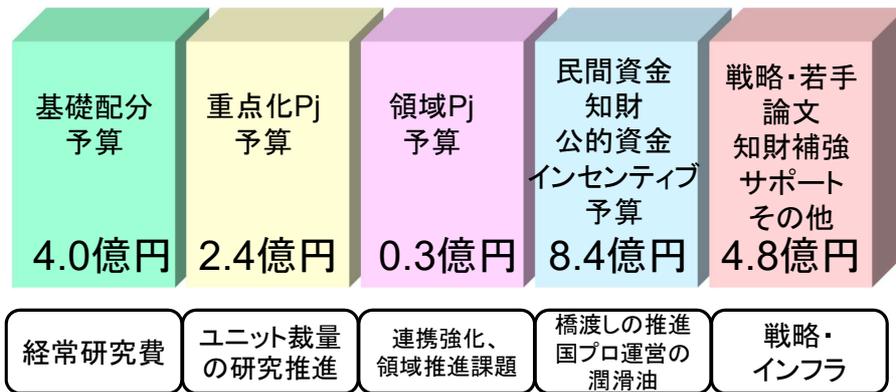
※研究者(常勤)に出向者は含まない

領域研究予算内訳



運営費交付金配賦方針

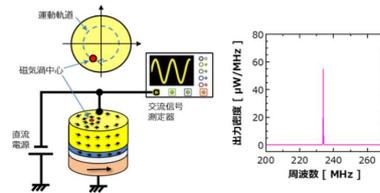
H28年度領域予算(運営費交付金) 19.9億円



特筆すべき研究成果

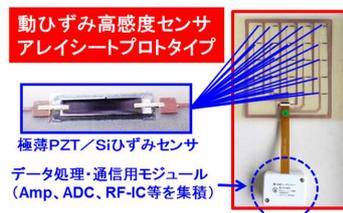
目的基礎

スピントロニクス発振素子において、従来の世界最高値よりも1桁大きな発振出力を実現。



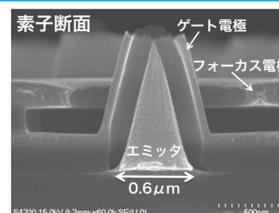
橋渡し
前期

ひずみセンサアレイシートを開発し、橋梁での亀裂検出の実証実験に成功。



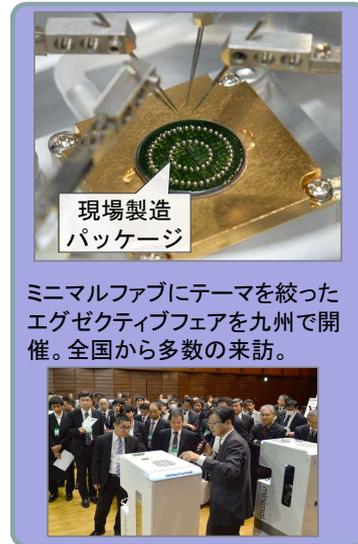
橋渡し
後期

ミニマルファブで実装したデバイスの動作を実証。センサ用デバイス等の作製レシピを整備。



特筆すべき成果

ミニマルファブ



- セミコンジャパン2016等で最新開発状況を情報発信
- 平成29年2月に「一般社団法人ミニマルファブ推進機構」設立
- ファウンダリビジネスの展開: 横河ソリューションサービス(株)、(株)ピーエムティー、(株)ネイタス

特筆すべき成果

「複合ナイトライド薄膜の開発」による知財収入: 1億円

- 窒化アルミニウム (AlN) 薄膜は、スマートフォンやタブレット用の次世代高周波フィルタの圧電材料として期待されているが、圧電性能が低いことが課題であった。
- スカンジウム (Sc) の添加によって飛躍的に圧電性能が向上することを発見 (特許第5190841号)。
- 米国企業へのライセンス料が180万ドル (約2億円) となり、国内企業と折半で産総研は約1億円の知財収入を獲得。
- 代表的な論文の引用数: 115
Advanced Materials 21, 5 (2009) IF=17.49.

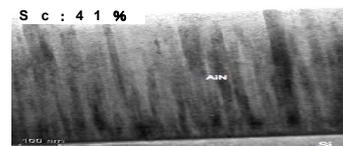


図1 ScAlN薄膜の断面図

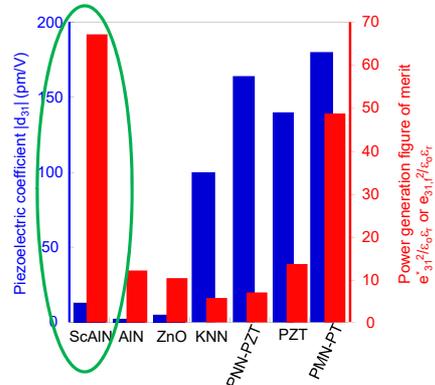
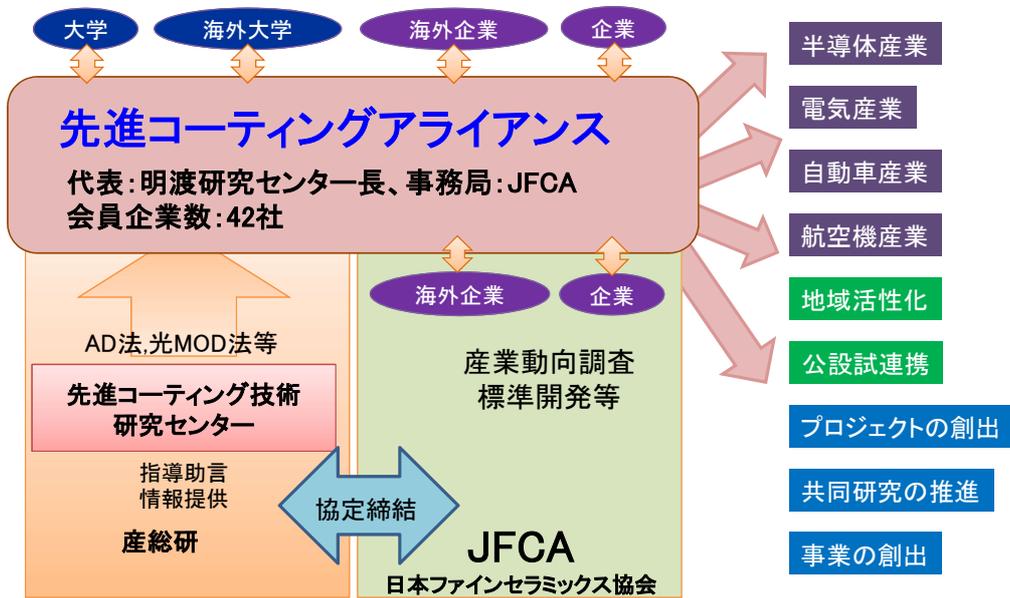


図2 圧電体の圧電定数d₃₁と発電性能指数e₃₁²/ε₃₁の比較

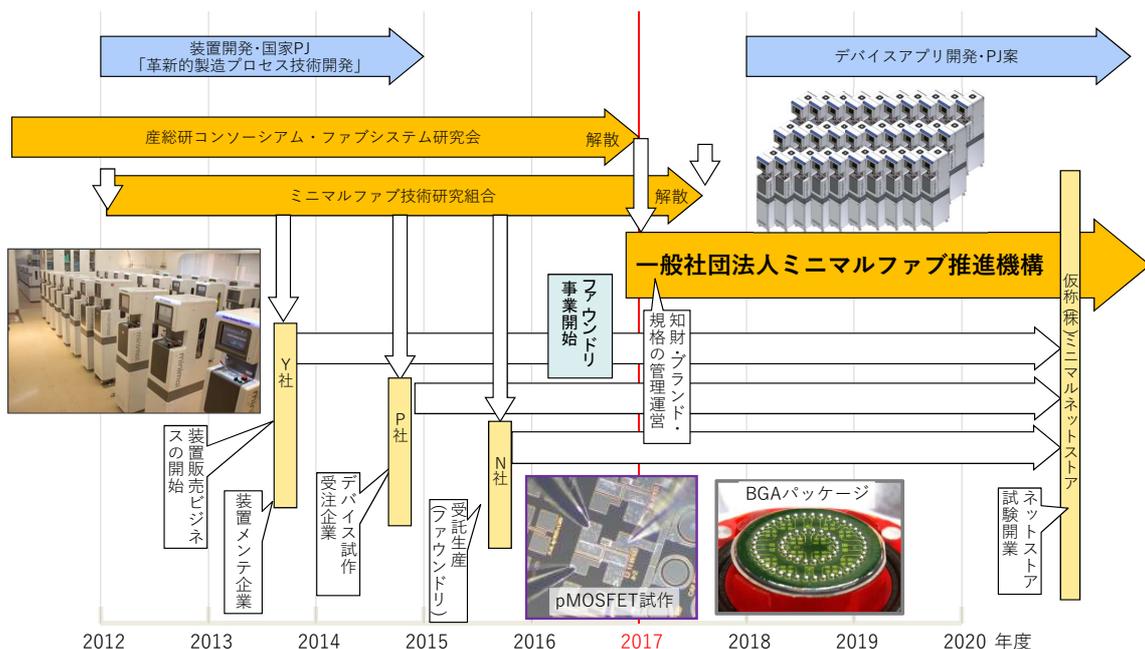
先進コーティングアライアンス

▶ 様々な応用への先進コーティング技術の普及促進



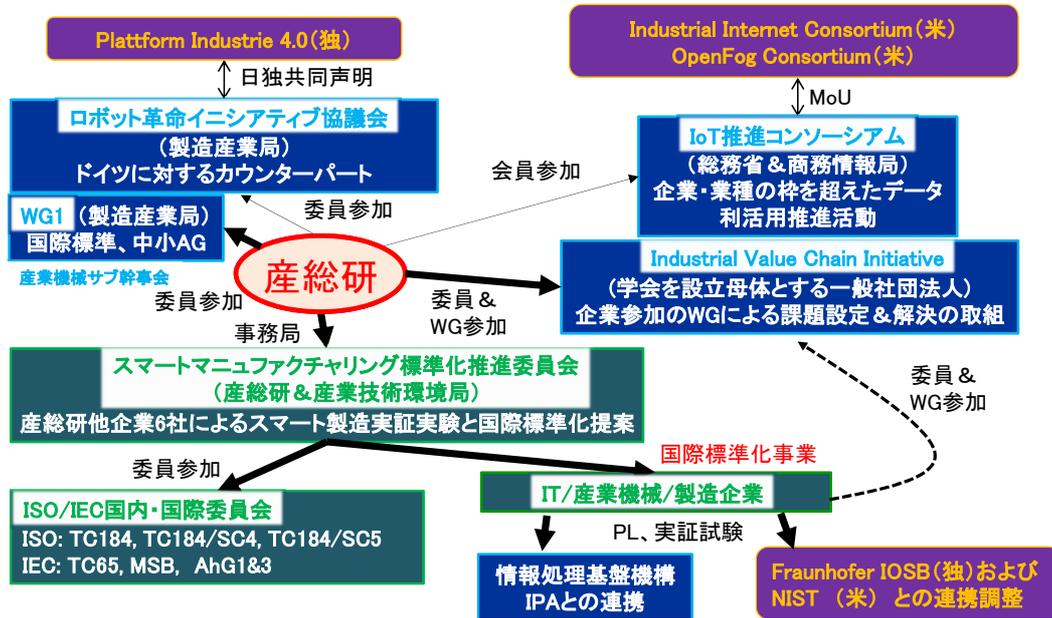
ミニマルファブ

▶ 革新的な半導体製造システムはビジネス普及の段階へ



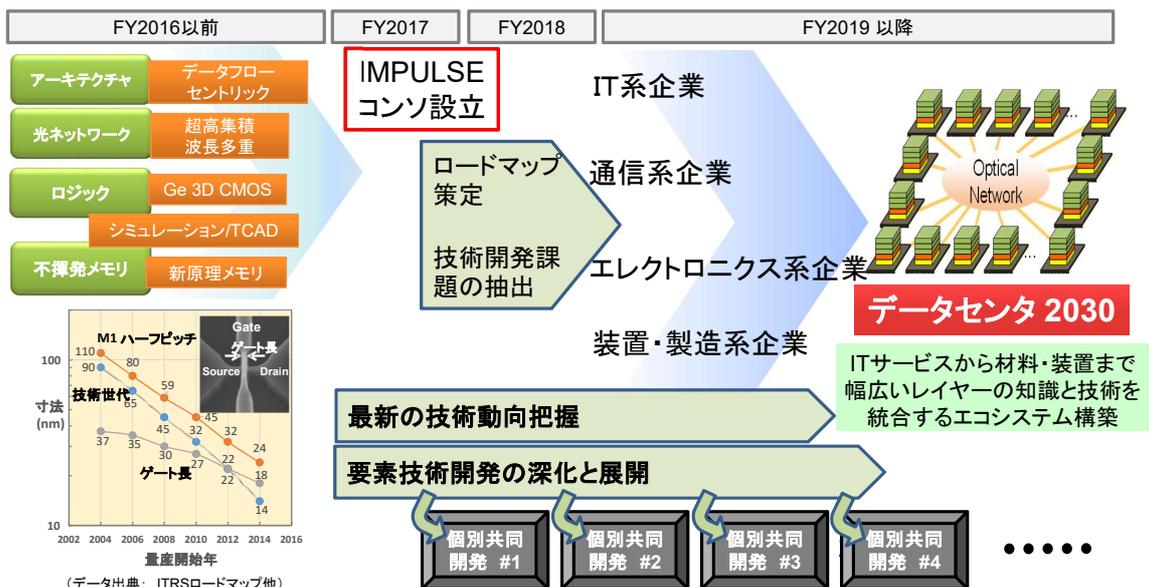
スマートマニュファクチャリング

▶ IoTものづくり関連技術動向への対応と国際標準化を先導



IMPULSEコンソーシアム

▶ 微細化の先、ポストムーア時代の情報処理デバイス技術潮流を先導



大学との連携強化

▶ オープンイノベーションラボラトリ

- 連携研究を強かに推進する拠点としてオープンイノベーションラボラトリを大学内に設置。
(名古屋大学、東京大学)
- 人工知能に関するグローバル研究拠点の設置準備の中で、IoTセンサ開発の準備中。
(東京大学柏キャンパス)



産総研-名大 窒化物半導体
先進デバイスオープン
イノベーションラボラトリ



産総研-東大 先端オペ
ランド計測技術オープン
イノベーションラボラトリ

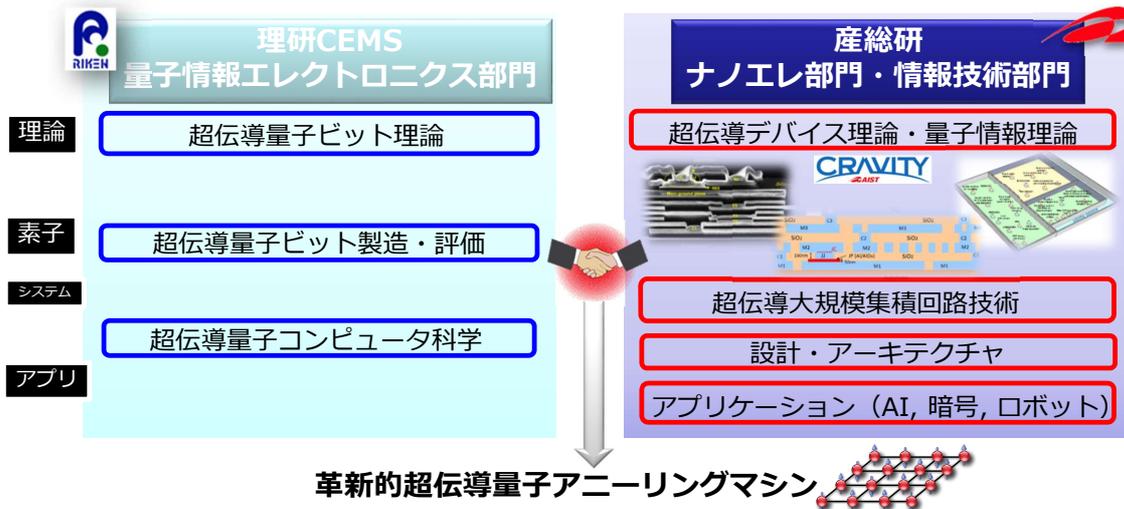
▶ クロスアポイントメント制度

- 東北大学、名古屋大学、九州工業大学より3名の教員がクロスアポイントメント制度により、産総研にて研究推進。
- 産総研から大学へのクロスアポイントメント(2名)の準備中(東京大学、東北大学)。



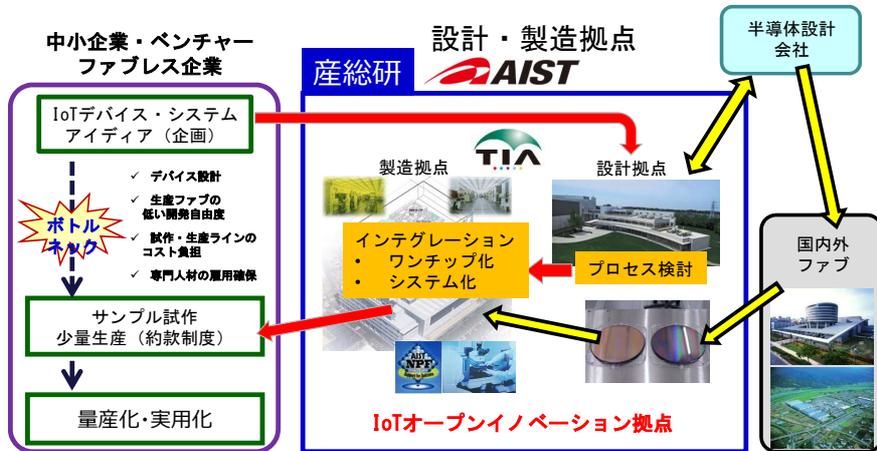
理研との連携強化

- H28年11月「産総研—理研 第2回量子技術イノベーションコアワークショップ」開催
- NEDO事業 IoT推進のための横断技術開発プロジェクト
「組合せ最適化処理に向けた革新的アニーリングマシンの研究開発」



- ▶ 平成28年10月1日付で特定国立研究開発法人に選定された理研と産総研とでタッグを組み商用超伝導量子アニーリングマシンの実現を目指す

NEDO「IoT技術開発のためのオープンイノベーション推進事業」
によるIoT技術連携強化拠点の構築開始



「IoT技術開発加速のための設計・製造基盤開発」(委託事業)
研究代表者 エレクトロクス・製造領域長 金丸正剛 約63億円/2年 (H28-H29)

- IoT産業への参入を目指す中小ベンチャー企業や、大学及び公的研究機関のためのオープンイノベーション拠点を整備

「研究人材の拡充・流動」と「人材育成」

研究員採用
／ダイバーシティ推進



女子大学院生と女性研究者の懇談

- ・重点戦略課題を担当する中堅研究者を年俸制により採用(3名)
- ・文科省の卓越研究員事業で2名採用。
- ・女子大学院生懇談会を開催(65名参加)
- ・研究職員採用におけるダイバーシティ推進(女性3名、外国人3名)

イノベーションスクール
/リサーチアシスタント



理事長講義風景

- ・イノベーション人材育成コース(3名)
- ・研究基礎力育成コース(7名)
- ・産総研リサーチアシスタント制度(学生向け)(修士:14名、博士1名)
- ・MEMSセミナーによる人材育成(13名)

成果のまとめ

【民間からの資金獲得額の目標値と実績値】

- ・ 目標値：12.7億円
- ・ 実績値：8.1億円（平成28年12月20日現在）（昨年度実績値：6.5億円）
- ・ 見込み：9.1億円（平成28年度末）（昨年度比 140%）

【産総研イノベーションスクール及びRA制度による人材育成人数】

- ・ 目標値：14名
- ・ 実績値：25名（平成28年12月末現在）（昨年度実績値：15名）
- ・ 見込み：25名（平成28年度末）

【技術的指導助言等の取り組み状況】

- ・ 技術コンサルティングを実施
- ・ 実績値：19社（約2,260万円）（平成28年12月末現在）（昨年度実績値2社1,000万円）

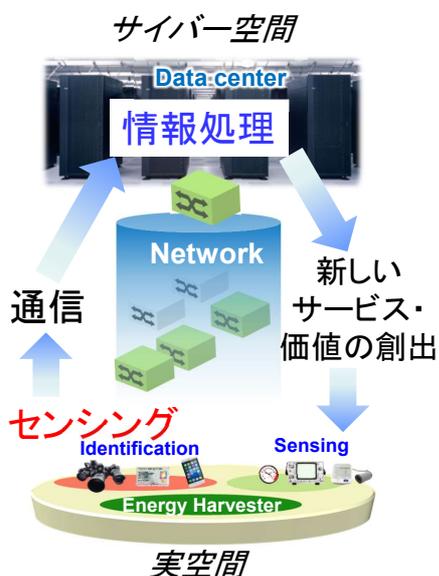
【TIAオープンイノベーション拠点に対する貢献】

- ・ スーパークリーンルーム(SCR)ではNEDO事業を通じた拠点整備で、ナノプロセッシング施設(NPF)では管理・運営で、MEMS拠点では管理・運営・人材育成で、超電導アナログ-デジタル計測デバイス開発拠点(CRAVITY)では管理・運営・国際連携で貢献。

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

目的基礎研究における今年度の主な成果



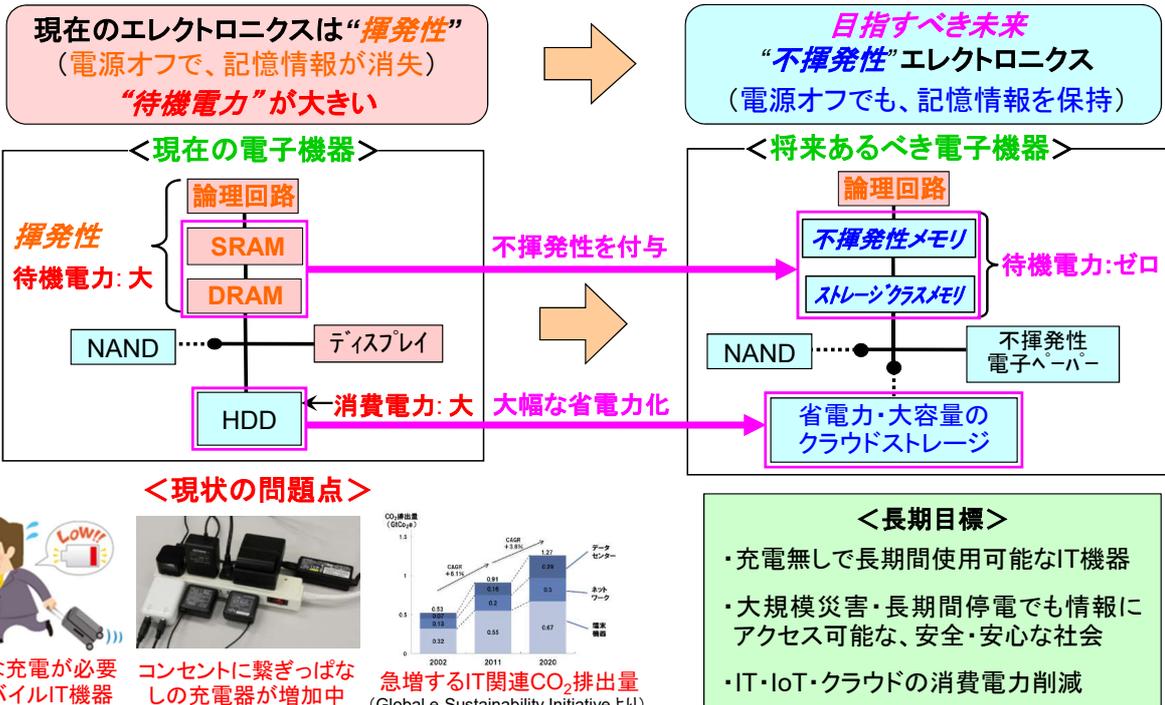
目的基礎	「橋渡し」前期	「橋渡し」後期
スピントロニクス 発振素子、電圧 書込型MRAM	スピントロニクス技術	STT-MRAM
相変化メモリ THz検出器	新型ロジック/メモリ技術	高密度光ディスク
超高感度 ウイルス検査	光センシング技術	導波モード センサ

(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

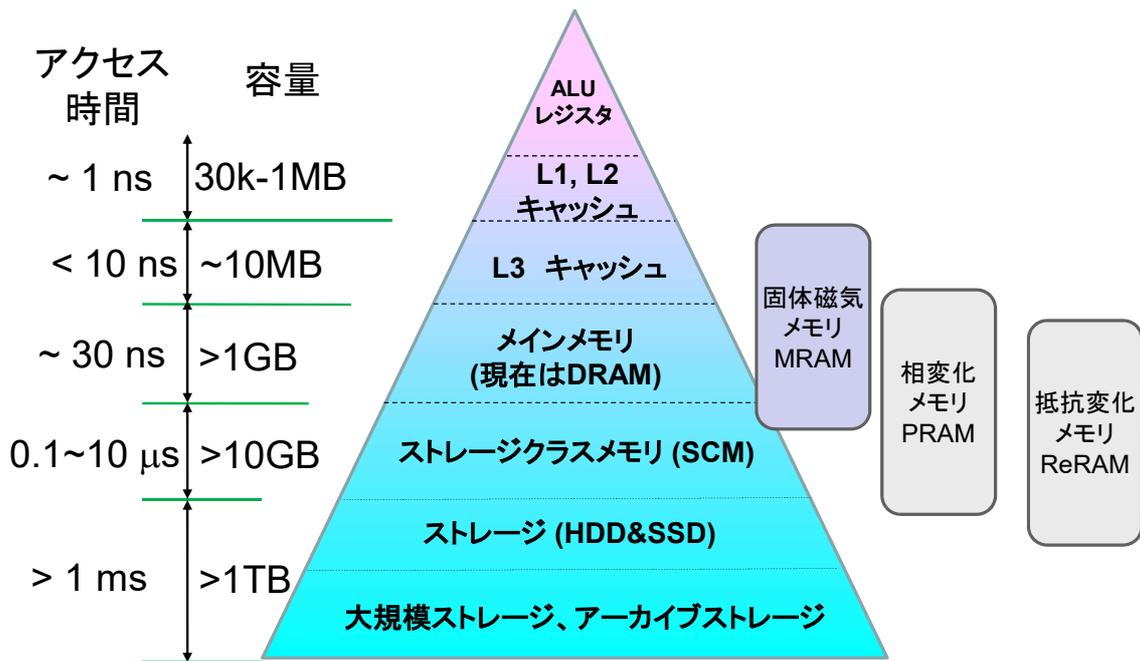
①「スピントロニクス技術」

スピントロニクス研究センター
センター長
湯浅 新治

課題の背景と目的



不揮発メモリの位置づけ



各種メモリのベンチマーク

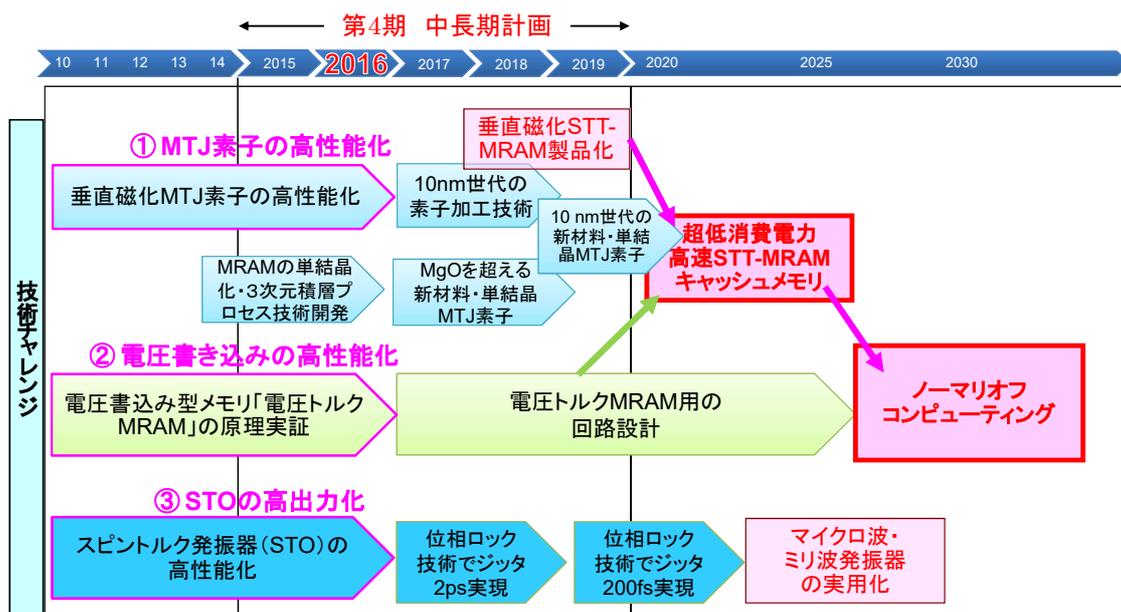
書き換え回数無制限のメモリのみ記載。書き換え可能回数に制限があるメモリ(ReRAM等)は用途が異なるので除外

	書き込み時間 (ns)	書き込み電力 (fJ)	待機電力	書き込みエラー率	1ビット当たりのセル面積 (nm ²)	用途、技術レベル
メインメモリ用途	DRAM	10~30	~100	中(微細化に伴い増大)	< 10 ⁻¹⁰	~3×10 ³ 現在主流のメインメモリ
	STT-MRAM (電流書込型)	10~30	~100	ゼロ	< 10 ⁻¹⁰	~7×10 ³ (現状) (MTJ直径~30 nm) 混載メモリ用途で出荷開始
キャッシュメモリ用途	L1, L2キャッシュ用SRAM	< 1	< 1	大	< 10 ⁻¹⁵	>> 10 ⁴ 現在主流のキャッシュメモリ
	L3キャッシュ用SRAM	1~3	~1	大	< 10 ⁻¹⁰	> 10 ⁴ 現在主流のキャッシュメモリ
	電圧トルクMRAM (電圧書込型)	1~3	~1	ゼロ	4×10 ⁻³ (昨年報告)	不明 (< 10 ⁴ は達成可能) キャッシュ用途、基礎研究段階

STT-MRAMの課題: DRAM並の微細化・高集積化(MTJ素子直径 ≤ 20 nmが必要)

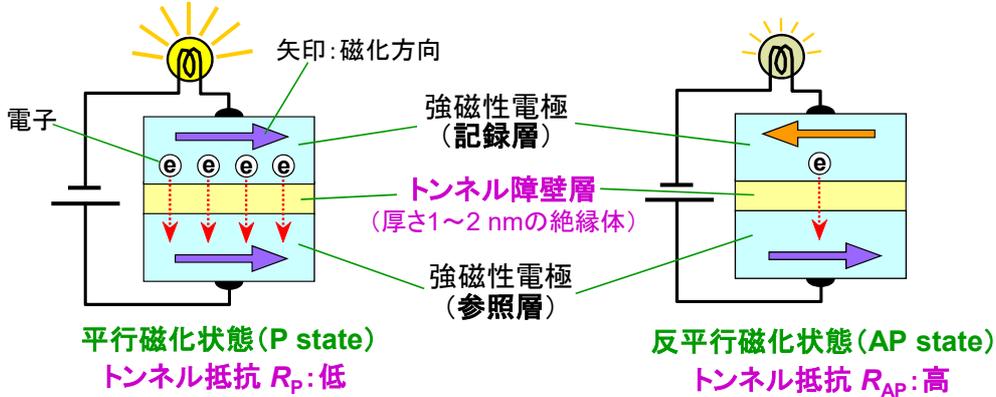
電圧トルクMRAMの課題: 山積(まだ基礎研究段階)。特に書き込みエラーの大幅な抑制

スピントロニクス技術 ロードマップ



MTJ素子のTMR効果

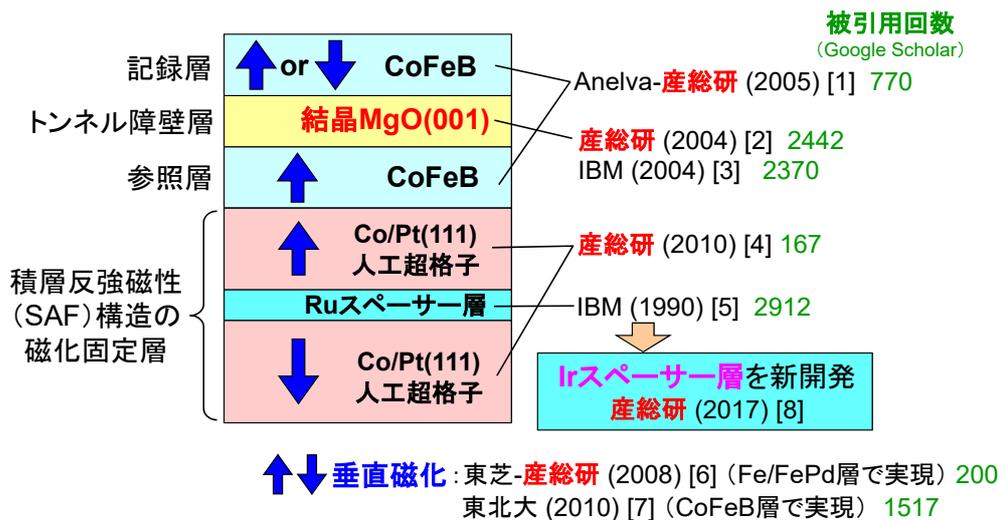
磁気トンネル接合素子(Magnetic Tunnel Junction: MTJ素子)
トンネル磁気抵抗効果(Tunnel Magneto-Resistance: TMR効果)



不揮発性メモリ MRAM、磁気センサー、マイクロ波素子など様々な応用の共通基盤技術

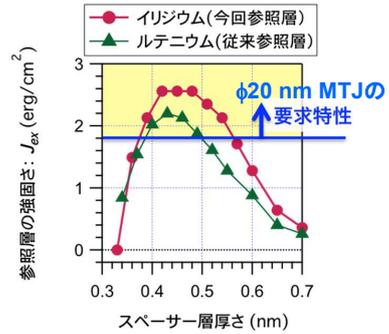
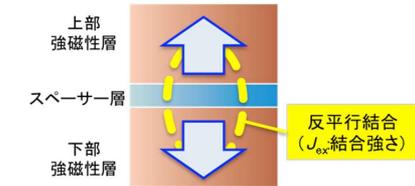
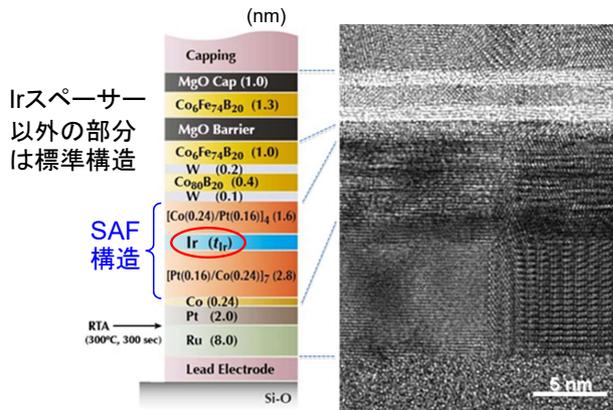
- 1975年 Julliere (仏): 低温で小さなTMR効果を初観測 (測定の artifact であった可能性もあり)
- 1982年 前川 (IBM): 低温で確実なTMR効果を観測
- 1995年 宮崎 (東北大)、Moosera (MIT): アモルファスAl-O障壁を用いて、室温で20%弱のTMR効果を実現
- 2004年 湯浅 (産総研)、Parkin (IBM): 結晶MgO(001)障壁を用いて、室温で数100%のTMR効果を実現

実用MTJ素子の標準構造



[1] Djayaprawira et al., *Appl. Phys. Lett.* **86**, 092502 (2005). [2] Yuasa et al., *Nature Mater.* **3**, 868 (2004).
 [3] Parkin et al., *Nature Mater.* **3**, 862 (2004). [4] Yakushiji et al., *Appl. Phys. Lett.* **97**, 232508 (2010).
 [5] Parkin et al., *Phys. Rev. Lett.* **64**, 2304 (1990). [6] Kishi et al., *IEDM Tech. Dig.* 12.6 (2008).
 [7] Ikeda et al., *Nature Mater.* **9**, 721 (2010). [8] Yakushiji et al., *Appl. Phys. Lett.* **110**, 092406 (2017).

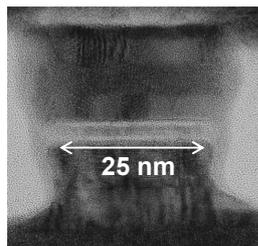
① MTJ素子の高性能化: Ruを凌ぐIrスペーサー層を開発



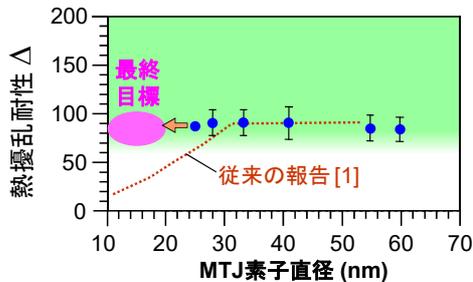
産業用の大型成膜装置を用いて、目的基礎研究と橋渡し研究を同時に実施

- ・K.Yakushiji, SY et al., *Appl. Phys. Lett.* **110**, 092406 (2017). (注目論文 **Editor's Picks** に選出)
- ・プレス発表 2017年2月27日

① MTJ素子の高性能化: Ruを凌ぐIrスペーサー層を開発

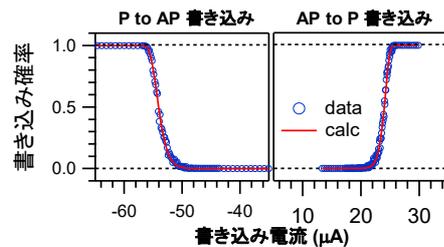


低ダメージ・エッチング技術を用いて加工したφ25 nmのMTJ素子(断面TEM像)



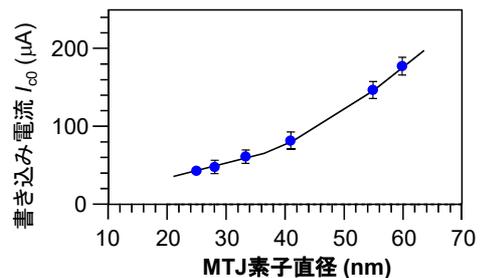
φ25 nmまで熱擾乱耐性 $\Delta \geq 85$ を維持することに成功
(10年間の記憶保持に必要な特性は $\Delta > 60 - 80$)

従来報告[1] H. Sato et al., *Appl. Phys. Lett.* **105**, 062403 (2014).



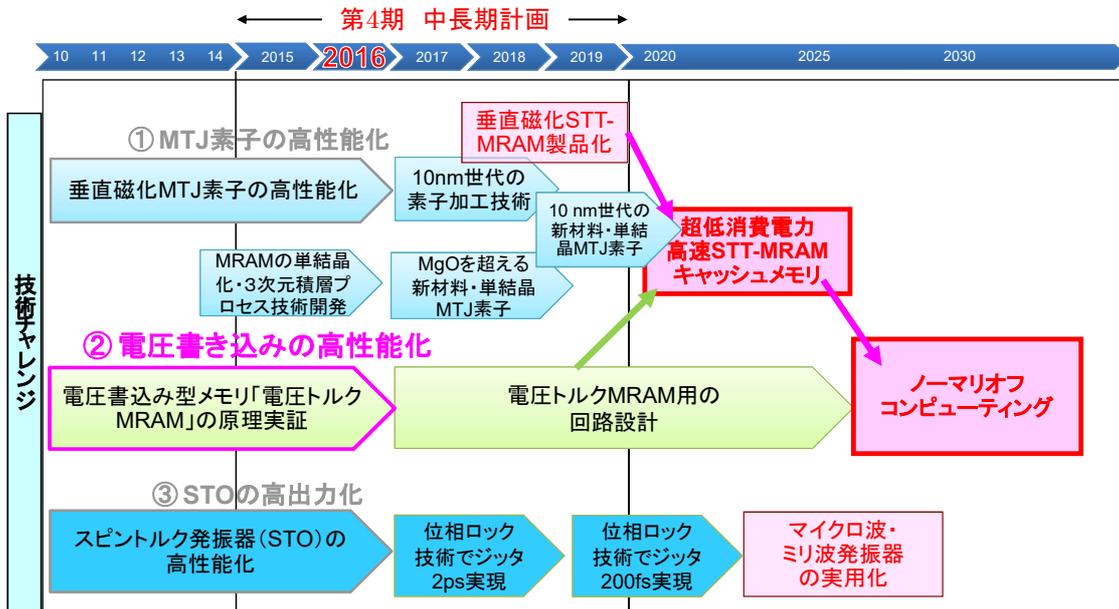
書き込み電流 $I_{c0} = 43 \mu A$
熱擾乱耐性 $\Delta = 85$
STT書き込み効率 (Δ / I_{c0}) = 2.0

世界トップレベルの書き込み効率 (Δ / I_{c0})

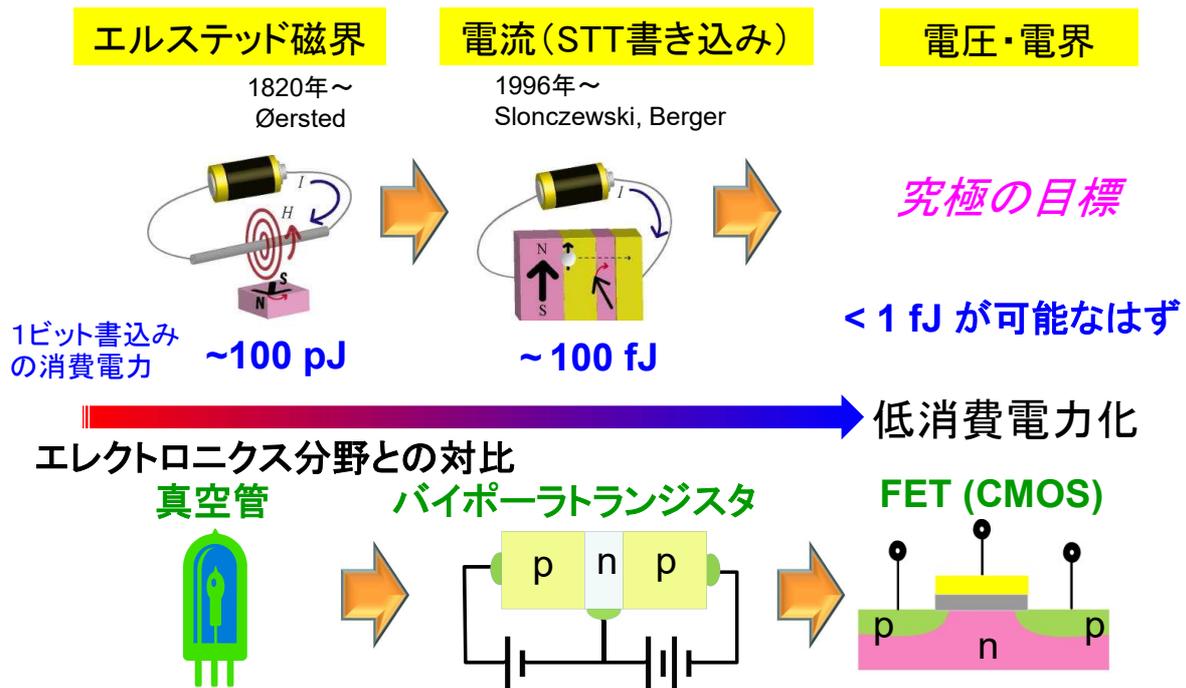


φ25 nmまでスケラブルな電流書き込みを実現

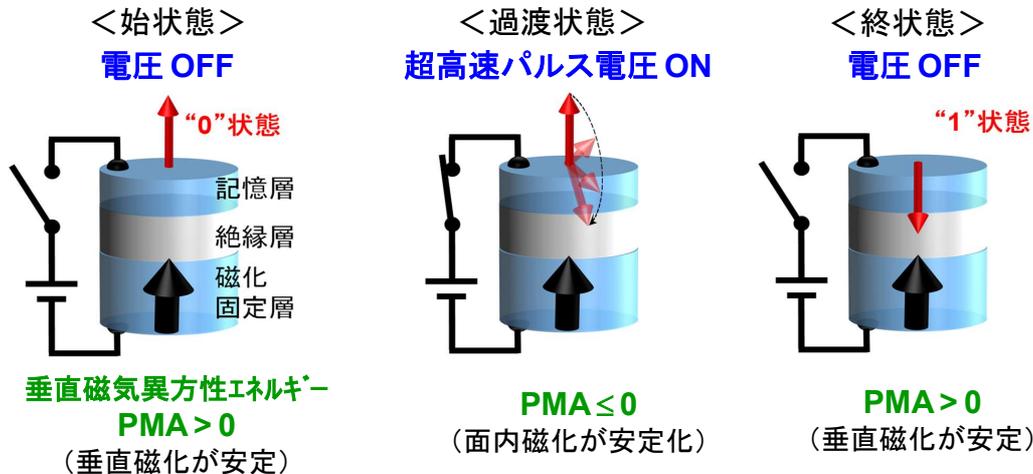
スピントロニクス技術 ロードマップ



電圧によるスピン操作の狙い



(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)
電圧書き込みの基本原理と課題



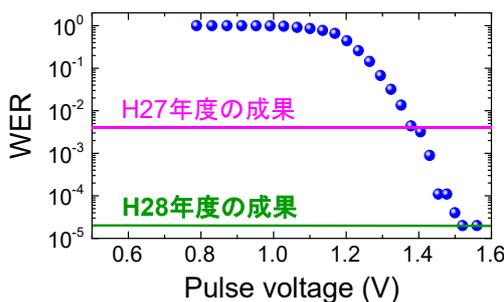
超高速パルス電圧でナノ磁石の歳差運動を誘起する。ちょうど半回転した瞬間(約0.5~1 nsec)に電圧を切ると、磁化反転(つまり情報書き込み)が起こる。高速かつ超低消費電力の書き込み技術

<問題点>書き込みエラー率が高い。従来のベストデータは、昨年度に報告した 4×10^{-3}

(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

② 電圧書き込みの高性能化: H28年度の研究成果(1)

書き込みエラー率(WER)の印加電圧依存性

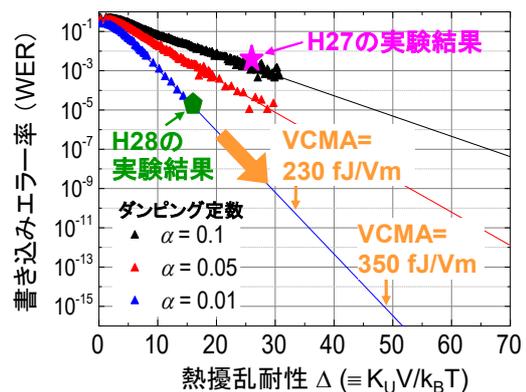


WER = 2×10^{-5} を達成(従来の1/200)
(論文投稿準備中)

<改善のポイント>

- ・ MTJ素子の微細化($\phi 120 \text{ nm} \Rightarrow \phi 60 \text{ nm}$)により、磁化のコヒーレンシーを改善
- ・ 電圧誘起の磁気異方性変化量(Voltage-Control of Magnetic Anisotropy: VCMA)を倍増($\sim 50 \text{ fJ/Vm}$)させたMTJ素子を使用

シミュレーションと実験結果の比較



<WERをさらに低減するためのキーポイント>

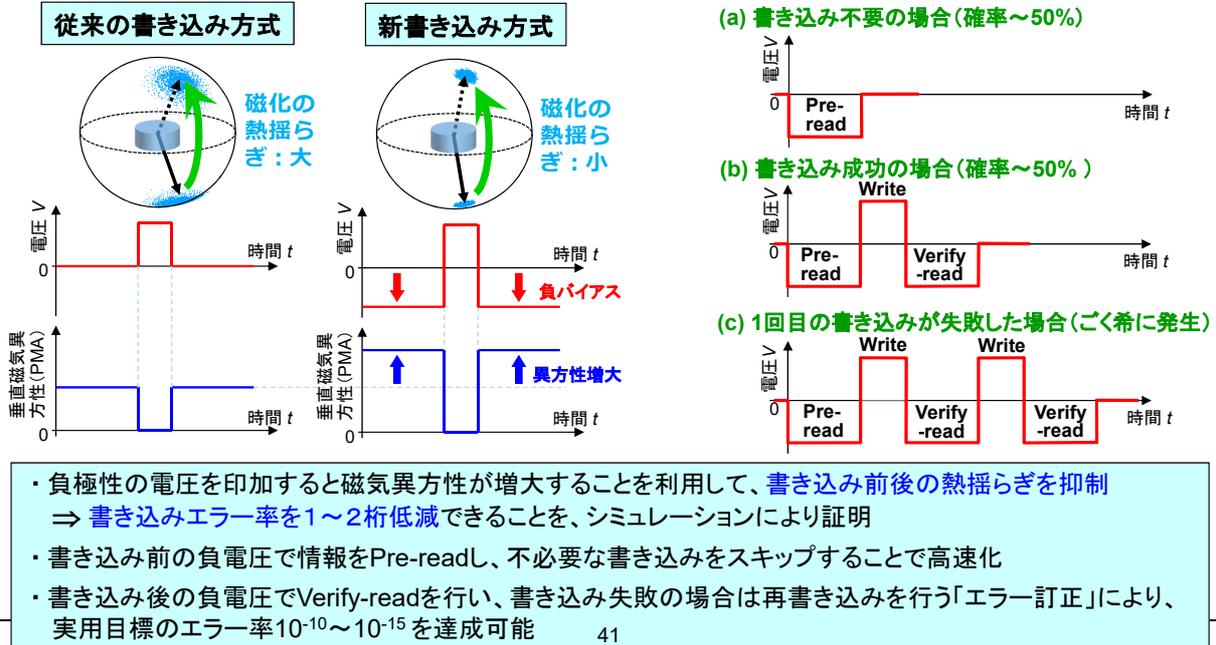
- ・ MTJの熱擾乱耐性 Δ の増大が不可欠
- ・ Δ を増大させるのは簡単だが、それに比例してVCMAも増大させないと書き込めなくなる
- ・ つまり、VCMAの増大が鍵(300 fJ/Vm 級)

ごく最近、実用材料を用いて
VCMA > 300 fJ/Vm を実現(未発表)

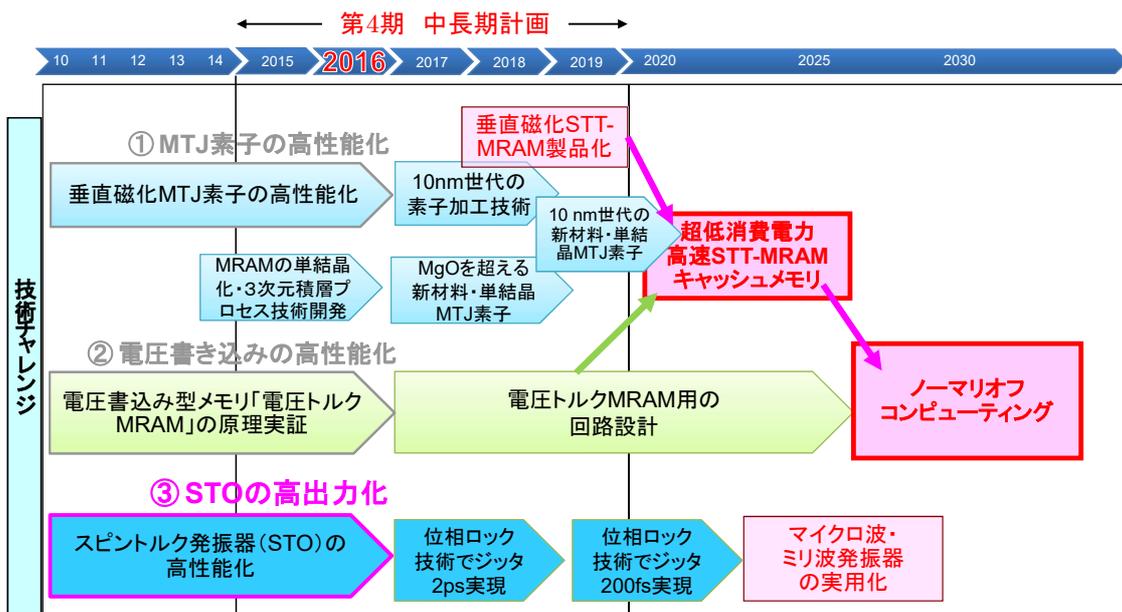
② 電圧書き込みの高性能化: H28年度の研究成果(2)

逆極性電圧を利用したWER低減法を考案(ImPACT、東芝との共同研究)

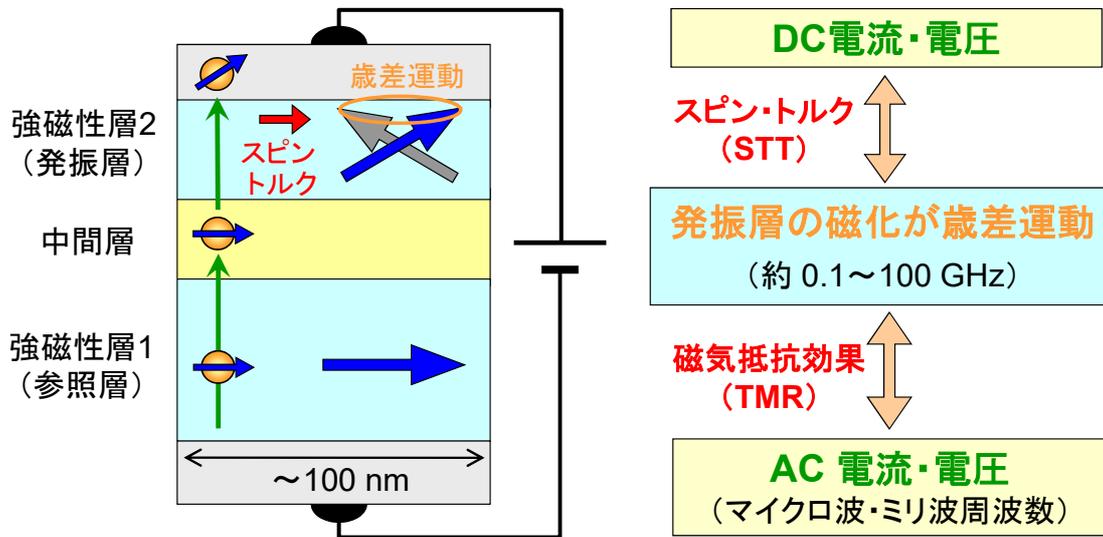
IEDM 2016(半導体デバイスの最重要国際会議)で発表、プレス発表 2016年12月4日



スピントロニクス技術 ロードマップ



マイクロ波デバイス機能の基本原則



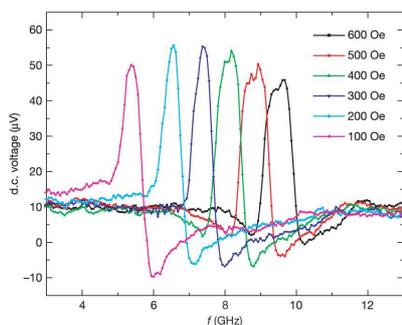
ナノサイズのMgO-MTJ素子は、

- ・マイクロ波発振器 (Spin-Torque Oscillator: **STO**)
- ・マイクロ波検波器 (Spin-Torque Diode: **STD**)として機能する

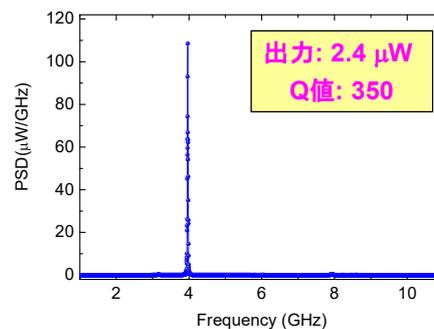
MgO-MTJ素子のマイクロ波機能に関する研究開発の経緯

産総研, 大阪大, フランスCNRS-Thales の共同研究

Tulapurkar, SY, et al., *Nature* **438**, 339 (2005). (検波)
 Kubota, SY et al., *Nature Phys.* **4**, 37 (2008). (検波)
 Deac, SY et al., *Nature Phys.* **4**, 803-809 (2008). (発振)
 Dussaux, SY et al., *Nature Comm.* **1**, 8 (2010). (発振)
 Miwa, SY et al., *Nature Materials* **13**, 50 (2013). (検波)
 S.Tamaru et al., *Scientific Reports* **5**, 18138 (2015). (発振)
 Jenkins, SY et al., *Nature Nano.* **11**, 360 (2016). (検波)
 Lebrun, SY et al., *Nature Comm.* to be published (2017). (発振)



マイクロ波検波 (STD)



マイクロ波発振 (STO)

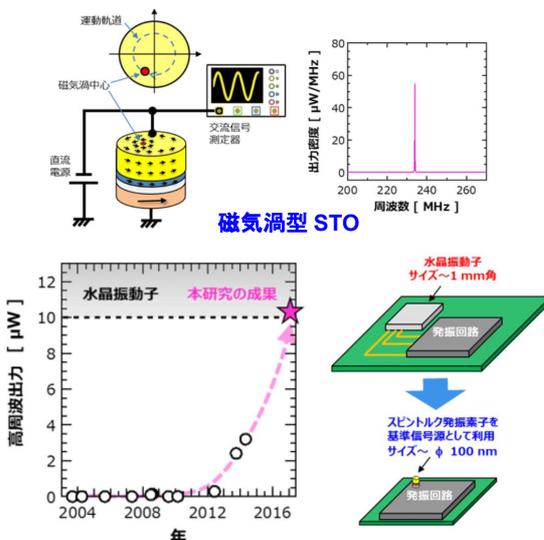
マイクロ波発振素子のベンチマーク

	周波数	周波数 可変幅	出力	素子サイズ	用途・特徴
CMOSリングオシレータ	数10 MHz ~数GHz	$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} > 10$	~mW	~ μm	LSI内部クロック生成。 通信用の発振器に比べて周波数安定性が悪い。
LC発振回路	~10 GHz	$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} > 2$	~mW	~100 μm	無線通信キャリア信号生成など
ガンダイオード	10~100 GHz	<1 GHz	~100 mW	~10 mm	通信、レーダー用途など。 広帯域で高出力だが、駆動電圧が高く、化合物半導体を使用するため高価。
水晶振動子	10 kHz~100 MHz	<1%	10~100 μW	~mm	基準信号源
マグネトロン発振器(真空管)	2-9 GHz	<1%	~kW	~10 cm	加熱、乾燥など
スピントルク発振素子 STO	0.1~数10 GHz	$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} > 2$	~3 μW (従来の最高値)	< 500 nm	まだ基礎研究段階。 極小サイズ・低コスト、広い周波数帯域などの特徴を活かして、実用化を目指す

③ STOの高出力化: 研究成果

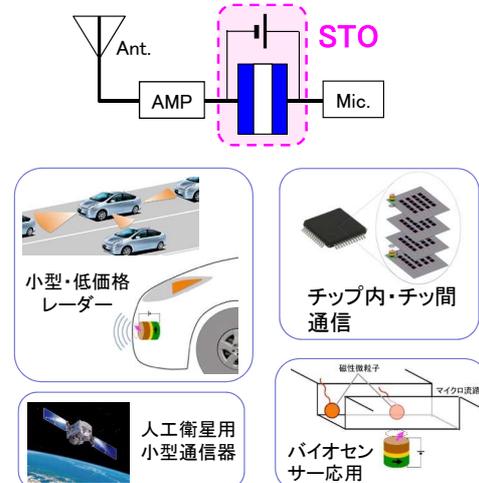
単一素子を用いて、応用の目安となる 10 μW の発振出力を実現

スピントルク発振素子 STO で世界最高出力



- ▶ 水晶振動子並みの高出力(10 μW)を達成(世界初)
- ▶ 共振回路不要で発振素子の小型化と集積化を実現
- ▶ 8個のSTOの位相同期にも成功(世界初、論文未発表)

ナノサイズ発振素子STOを中核にして種々の応用展開を加速



S. Tsunegi et al., *Appl. Phys. Lett.* **109**, 252402 (2016).
プレス発表 2016年12月16日

平成28年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)

受賞者:湯浅 新治(センター長)
受賞業績:巨大トンネル磁気抵抗効果の研究

平成28年度 科学技術賞 研究部門



湯浅 新治 (47歳)

現職

国立研究開発法人産業技術総合研究所
スピントロニクス研究センター
研究センター長

巨大トンネル磁気抵抗効果の研究

業績

ノーベル賞技術である巨大磁気抵抗効果の発見により、磁気を用いて電気を制御する磁気抵抗効果の産業応用が可能となった。しかし、磁気抵抗効果の性能を表す磁気抵抗比が室温で数10%しかないことが、応用上の深刻な問題となっていた。

本研究では、結晶性の酸化マグネシウム(MgO)をトンネル絶縁膜に用いた新型のトンネル磁気抵抗素子を開発し、室温で約200%に達する巨大なトンネル磁気抵抗効果を世界で初めて実現した。さらに、製造装置メーカーと共同でMgOと磁性合金CoFeBを組み合わせた量産技術を開発し、MgOトンネル磁気抵抗素子の産業応用を可能にした。

本研究により、MgOトンネル磁気抵抗素子を利用した磁気センサー素子が実用化され、現在製造されている全てのハードディスク記憶装置(HDD)に用いられており、HDDの飛躍的な大容量化と低価格化、省電力化をもたらした。さらに、同技術を用いた不揮発性メモリSTT-MRAMも、近い将来の実用化が期待されている。

本成果は、次世代IT機器の高性能化、電力消費の抑制、利便性の向上、および安全安心なIT社会の実現などに寄与することが期待される。

第38回 応用物理学会 優秀論文賞

受賞者:福島 章雄(副センター長)、他6名
受賞論文:Spin dice: A scalable truly random number generator based on spintronics

受賞者	受賞対象論文
福島章雄 (産業技術総合研究所) 関 貴之 (産業技術総合研究所) 義藤孝賢 (産業技術総合研究所) 久保田均 (産業技術総合研究所) 今村裕志 (産業技術総合研究所) 湯浅新治 (産業技術総合研究所) 安藤功兒 (産業技術総合研究所)	Spin dice: A scalable truly random number generator based on spintronics Akio Fukushima, Takayuki Seki, Kay Yakushiji, Hitoshi Kubota, Hiroshi Imamura, Shinji Yuasa, and Koji Ando Appl. Phys. Express 7 (2014) 083001

本論文は、著者らが世界に先駆けて研究開発を進めてきたスピントルク磁化反転がもつ確率的な反転挙動を利用した物理乱数発生器(著者らは「スピンドイス」と命名した)に関する研究報告である。物理乱数発生器により生成される予測不能な乱数列は、10Tが浸透しつつある現代社会において情報セキュリティを保つうえで欠くことのできない根幹技術である。著者らはスピントルク磁化反転が大きい電流付近の電流に対し緩やかに変化することに注目し、確率が0.5になるように電流を調節して磁気抵抗効果素子から2値乱数を生成した。そして、独立した磁気抵抗効果素子から得られる2値乱数列間で排他的論理和(XOR)演算を行うことでNISTの検定に合格する真正乱数列が得られることを示した。確率的な磁化反転はスピントルク磁気ランダムアクセスメモリ(STT-MRAM)においては避けるべき現象であったが、スピンドイスはこれを上手に活用する。スケーラブルな磁気抵抗効果素子によるスピンドイスは、超小型でLSIへの集積性に優れ、かつ高速な物理乱数発生器として今後の大きな展開が期待でき、スピントロニクスにおいて磁気センサー、不揮発メモリ、マイクロ波発振に続く第4の応用デバイス分野として期待される。以上より、本論文を応用物理学会優秀論文賞にふさわしい論文として推薦する。



① 各種応用の共通基盤技術であるMTJ素子の高性能化

- ・参照層のIrスペーサーを開発し、 $\leq 20 \text{ nm}\phi$ のMRAMの要求性能と優れた生産制御性を実現。十数年間も実用されてきたRuスペーサーが、近い将来Irスペーサーに刷新される可能性大

(今後の予定) 産業界への普及活動。さらなる性能向上

② 電圧トルクMRAMのための電圧書き込みの高性能化

- ・電圧書き込みのエラー率 $WER=2 \times 10^{-5}$ を実現。従来のトップデータ(昨年度報告)に比べて1/200に低減。電圧誘起磁気異方性変化量(VCMA)の増大により、更なる低減が可能
- ・書き込み前後に逆極性電圧を印加する新書き込み方式を考案。始状態と終状態の熱揺らぎ抑制によるWER低減、Pre-read / Write / Verify-readによるエラー訂正を同時に実行

(今後の予定) 高VCMA材料を用いたWERの更なる低減。新書き込み方式の実験実証

③ スピントルク発振素子 STO の高出力化

- ・水晶発振器並みの発振出力10 μW を達成。従来の最高値(これも産総研データ)の3倍超という高出力。複数素子の位相同期により100 μW 級出力の可能性が見えてきた

(今後の予定) 位相同期による100 μW 級の高出力の実現。キラーアプリの探索

(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

②「新型メモリ/ロジック技術」

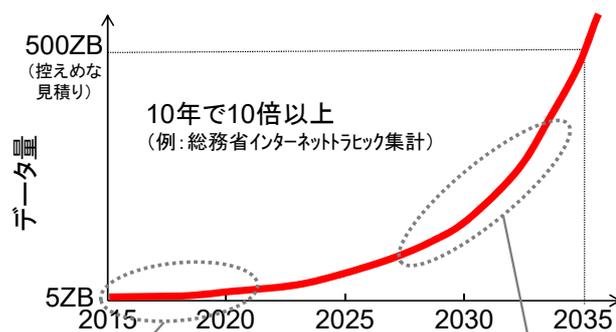
ナノエレクトロニクス研究部門

部門長

安田 哲二

(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

大規模化するデータが求めるハードウェア革新

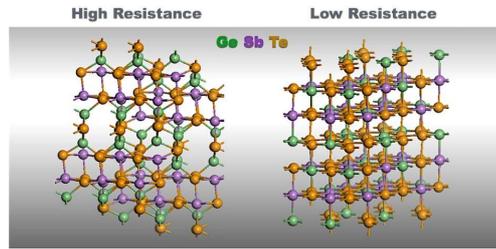
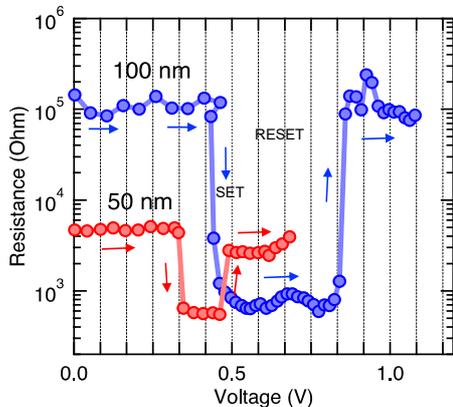


当面は
ノイマン型ハード
+
人工知能ソフト
で対応

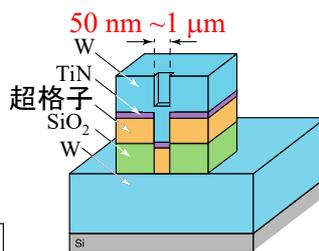
- ハードの革新が必須
- ・大容量で高速なストレージ
 - ・ロジック回路の低消費電力化(極低電圧動作)
 - ・メモリ/ロジック集積による高効率化・高性能化
 - ・新原理コンピューティング

相変化メモリ

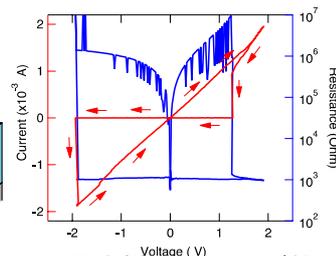
1V以下の低電圧でのスイッチング動作を
100nm以下の微細セルにて実証



産総研が開発した超格子型相変化材料
[(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₄]₈



試作したメモリセル構造



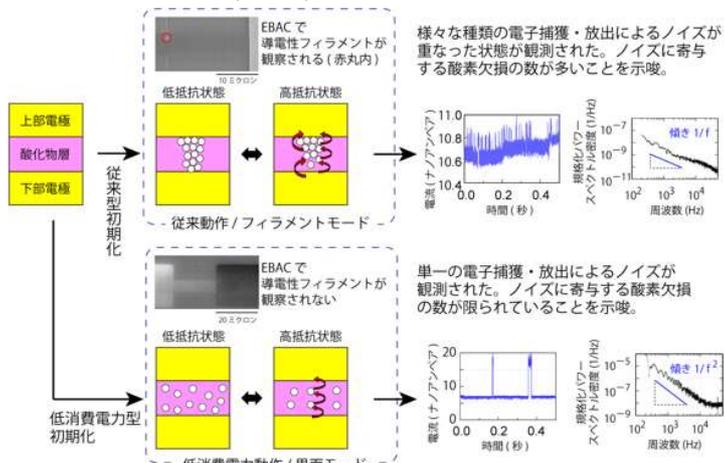
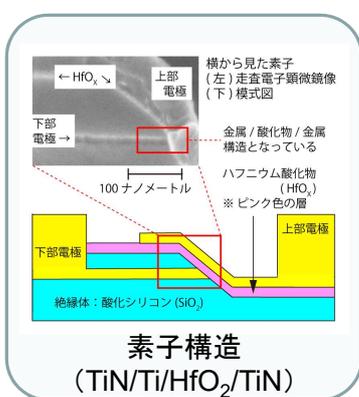
電界支援スイッチング機構を示唆するバイポーラ動作を観察

NEDO・IoT推進のための横断技術開発PJ
「高速大容量ストレージデバイス・システムの研究開発」において、東芝からの再委託研究を実施中

抵抗変化メモリ

- HfO₂を用いた抵抗変化メモリについて、超低消費電力動作と従来動作を同一構造の素子で選択する手法を開発し、幅広い電流レンジでノイズ計測。
- ノイズの周波数依存性より、HfO₂の酸素欠損が素子の動作電力に与える影響を明らかにした。

[W. Feng, H. Shima, et al. Sci. Rep. 6:39510 (2016)]



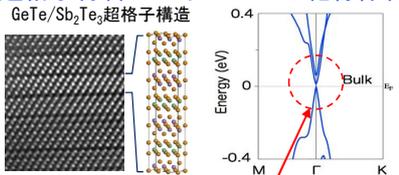
不揮発メモリ技術からの新展開

— 外部資金による研究を通じて蓄積してきた技術の応用 —

相変化RAM

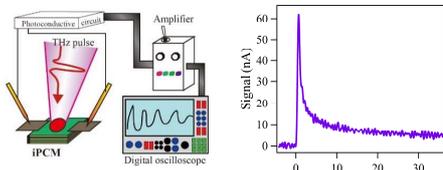
⇒ テラヘルツ波の検出
THzイメージング、大容量サーバー間通信などへの応用の可能性

超格子材料のトポロジカル絶縁体特性



「テラヘルツ波検出に適したバンド構造」

世界初！ テラヘルツ波の室温検出に成功

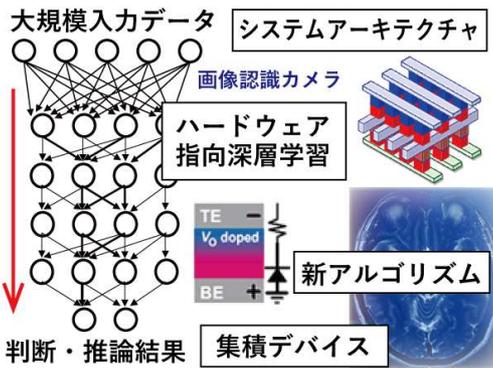


K. Makino et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 8, 32408 (2016)

抵抗変化RAM

⇒ アナログ型抵抗変化素子を用いた脳型情報処理

ハード・ソフト一体型 脳型推論システム開発

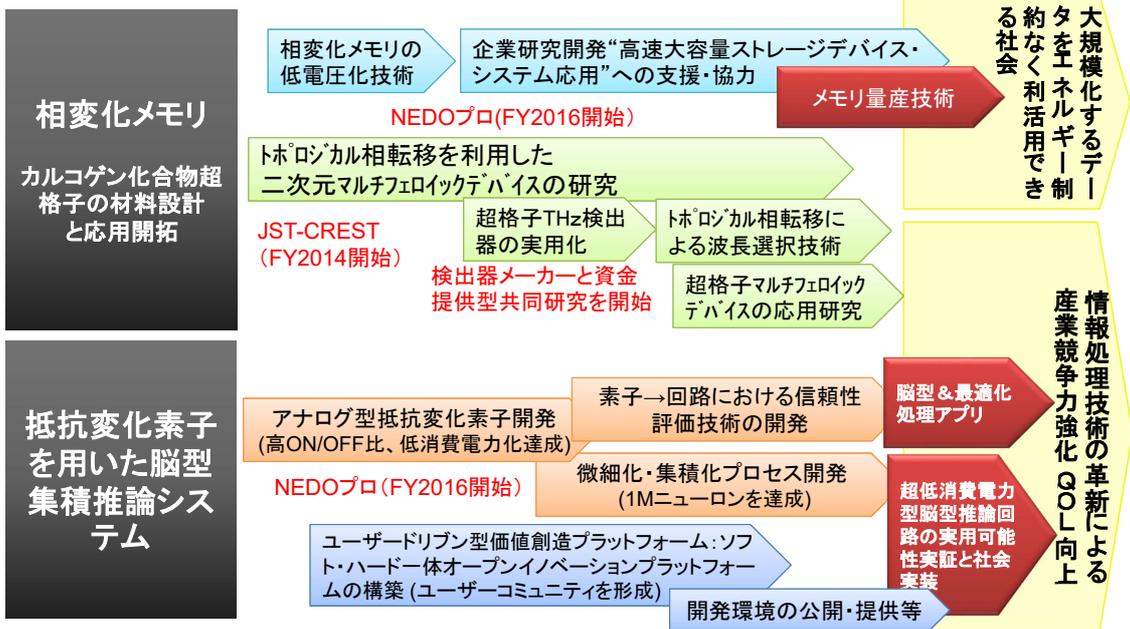


NEDO受託・IoT推進のための横断技術開発PJ「超高速・低消費電力ビッグデータ処理を実現・利活用する脳型推論集積システムの研究開発」(産業技術総合研究所、パナソニックセミコンダクターソリューションズ(株)、北海道大学、早稲田大学、東京工業大学)

ロードマップ(相変化メモリ、抵抗変化素子を用いた推論システム)

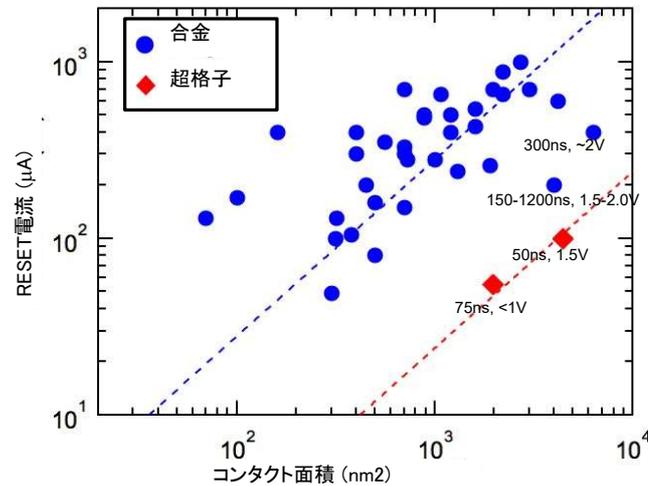
第4期 中長期計画

2015 → 2016 → 2017 → 2018 → 2019 → 2020~



相変化メモリ ベンチマーキング

スイッチ電流性能



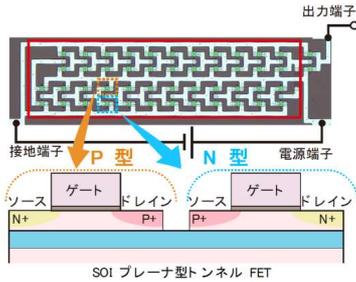
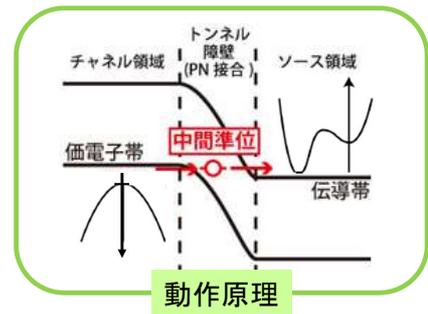
先端ロジック製造がファウンドリに移る中での産総研の立ち位置

- 先端ロジックを製造する企業が国内に無くても世界水準の研究維持が必要な理由-

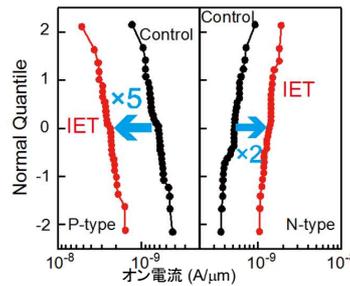
- 情報処理の低消費電力化への社会的要請
- 我が国の半導体・IT関連業界のために、先端ロジック製造技術を理解している研究者群が国内に存在することが必要
 - ファウンドリを使いこなすための技術的知見
 - 装置・材料メーカーの競争力強化
- ポストムーア世代に予期される競争ルール変化への対応

トンネルFET

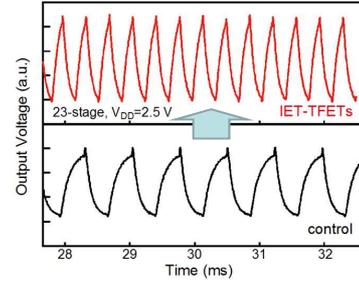
- ✓ トンネル現象の利用により電流立ち上がりが急峻化し(Steep Slope)極低電圧動作が可能になるトンネルFETにつき、CMOSインバータを集積したリング発振器回路の試作に世界で初めて成功。
- ✓ 等電子トラップ(IET)による動作速度向上を実現。



試作したリングオシレータ



n/p型TFET両方においてオン電流向上

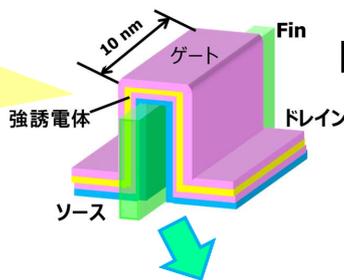
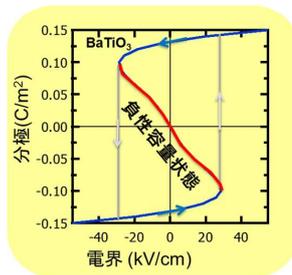


リング発振器の動作速度向上

IEDM2016にて発表, 産総研・NEDOプレスリリース、デバイスメーカーと資金提供型共同研究

負性容量FET

- ✓ 強誘電体の非線形な負性容量現象(注1)を利用して電流立ち上がりを急峻化する負性容量FETについて、独自開発TCADによりデバイス設計と特性予測が可能に。

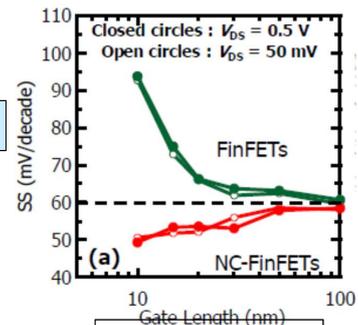


従来のTCADでは収束解が得られない



Impulse TCAD(注2)を開発

強力なソルバー(自動微分)で精密計算に成功。
10nm世代のデバイス設計手法を提示。



IEDM 2016で発表

注1) 強誘電体がある適当な条件下で“負”の誘電率を示す非線形現象。

注2) 情報技術研究部門と共同で開発

IMPULSE TCADを独自開発

新構造、新材料、新デバイス原理、3D集積(計算対象の大規模化)に対応可能

自動微分

$$G(\psi, n, p) = \frac{\partial n}{\partial t} + n\mu_n \nabla \psi - D_n \nabla n - GR$$

$$GR = GR_{SRH} + GR_{Auger} + GR_{II} + GR_{BTBT} + \dots$$

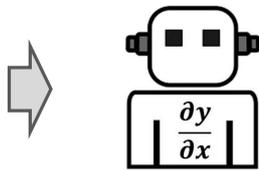
$$\frac{\partial G}{\partial \psi} = \dots$$

$$\frac{\partial G}{\partial n} = \dots$$

$$\frac{\partial G}{\partial p} = \dots$$

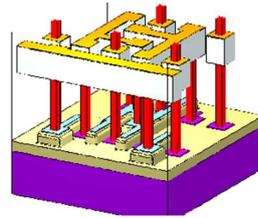
通常は、新たに方程式を組み込むために
長いコーディング作業が必要

(全変数に関する微分を書き下す)

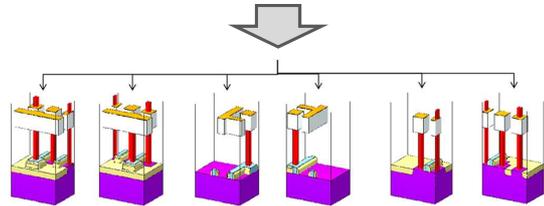


基本方程式を
記述すれば、
あとは自動微分
が対応

領域分割

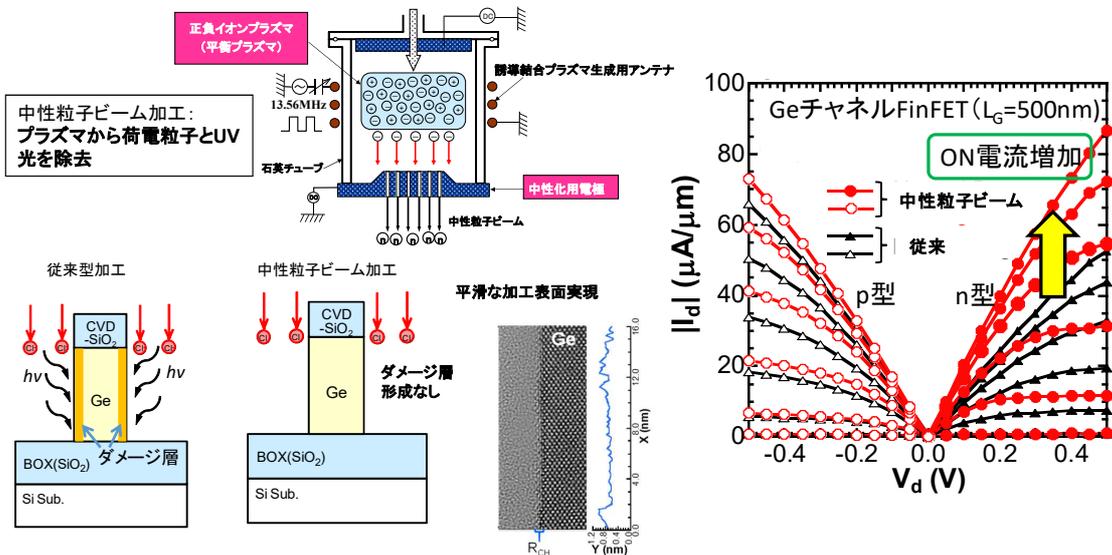


従来のTCADでは
規模が大き過ぎて
扱えない構造を
分割して計算



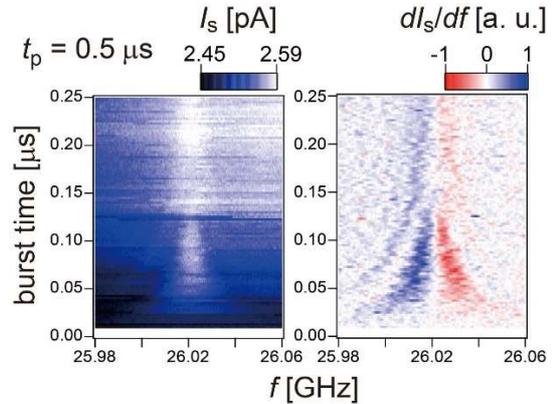
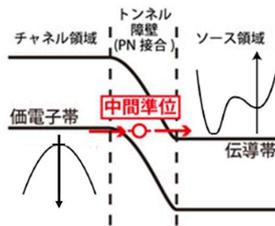
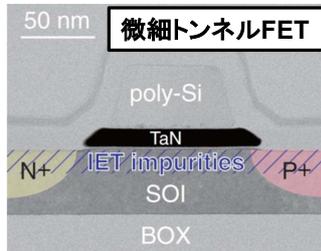
GeチャネルFET

- ✓ キャリア移動度が高く、トランジスタレベルの3D集積にも適したGeチャネルのFin加工について、中性粒子ビームを適用し無損傷加工によるオン電流向上を実証 [東北大・寒川教授の産総研クロスアポイントメントの成果の一つ]

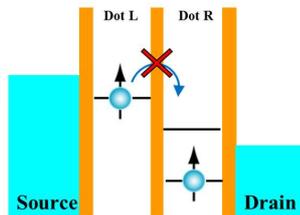


量子計算への展開

- ✓ 等電子トラップ援用SiトンネルFETを応用し、集積化に適した量子ビットを実証
(産総研・理研・物材機構の共同研究)



スピン閉塞の実現



1.5Kでラビ振動を観測。
Si量子ビットの動作温度としては世界最高。

S. Moriyama 他, Quantum-CMOS Integ. Tech. WS 2016; 理研チャレンジ研究に採択

ロードマップ(ロジック向けFET)

第4期 中長期計画

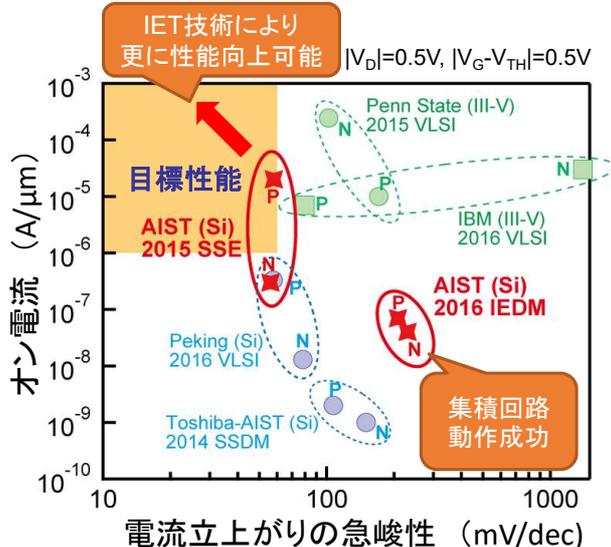
2015 > 2016 > 2017 > 2018 > 2019 > 2020~



ロジック向けFET ベンチマーキング

トンネルFET

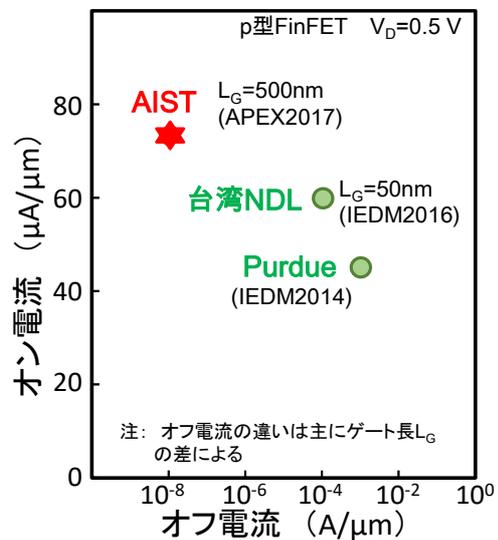
<単一基板上でp型とn型の両方を集積した6例>



- ✓ CMOS回路動作に成功したのは産総研のみ
- ✓ III-VはP型とN型とで異なるチャネル材料が必要のため、製造が難しい。

Ge チャネルFET

<フィンFETの報告3例>



- ✓ L_G や V_{th} の違いを考慮しても産総研のFinFETはオン電流が高い(無損傷加工の効果)

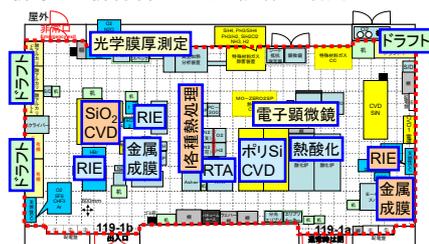
微細Si FinFET試作プラットフォーム活用例



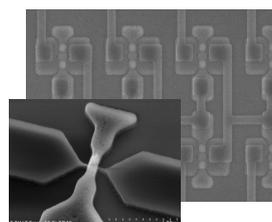
ナノ材料研究棟「ナノ棟」
1F CR(class 1000,100)
2~4F 居室・実験室



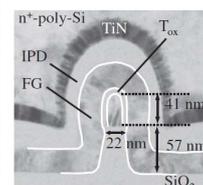
- ✓ 前工程、リソ工程(g線,EB)、配線工程、検査工程に必要な装置稼働
- ✓ 小口径ウェハでの微細CMOSデバイス、新原理・新材料デバイス試作に活用



最先端デバイス開発



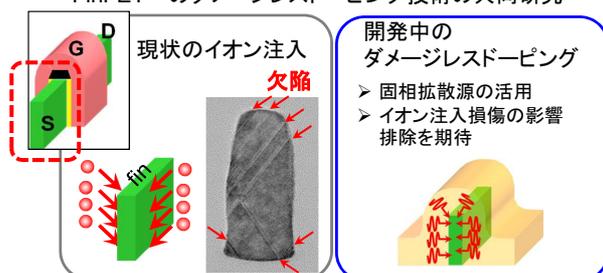
FinFET回路



Fin型フラッシュメモリ

H28年度に実施した
民間企業連携の例(化学メーカー)

FinFETへのダメージレスドーピング技術の共同研究



まとめ

1. 不揮発メモリ

- 相変化メモリ: 微細セルにて1V動作。トポロジカル絶縁体物性のTHz応用も。
- 抵抗変化メモリ: 雑音特性からSW機構解明。脳型情報処理へ展開中。
- ナノギャップメモリ: 高温で動作実証(600°C)。長期保管メモリ応用に期待。

2. ロジック向けFET

- トネルFET: CMOS回路動作を世界初実証。量子ビットとしても良好な特性。
- 負性容量FET: 産総研オリジナルTCADによる設計手法を提示。
- GeチャネルFET: 無損傷加工による高性能FinFET実証。
- 強誘電体FET: 低電圧化(3.3V)しつつ 10^9 回書換達成。アナログ計算応用に期待。
- Si FinFETプラットフォーム: 材料・装置メーカーの開発に貢献。

(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

③「光センシング技術」

電子光技術研究部門

副部門長

阿澄 玲子

情報技術における電子・光技術研究と
光センシングの位置づけ



「橋渡し」研究前期における垂直融合型研究開発

光情報技術(光パスネットワーク)H28年度成果まとめ

コア技術関連成果

シリコンフォトニクススイッチ・ブレード実装

実装・制御技術を確認

世界初の全経路動作

高速制御手法を特許出願済 (PCT/JP2016/083221, OFC 2017, W4E.3)
K. Tanigawa et al., OECC 2016 光エレクトロニクスシンポジウム

Transmission [dB]

Output port

Target output port

シリコンフォトニクス変調器

標準型変調器 SCR試作結果

- $V_{\text{rL}} \sim 3 \text{ Vcm}$
- $f_{\text{3dB}} \sim 20 \text{ GHz}$

位相シフト電流路
キャリア分布

高効率変調器 2"試作結果

- $V_{\text{rL}} < 1 \text{ Vcm}$
- $f_{\text{3dB}} > 20 \text{ GHz}$

平均駆動電圧 $V_{\text{d}} < 3 \text{ V}$

位相シフト電流路キャリア分布
(縦型PN構造による高効率化)

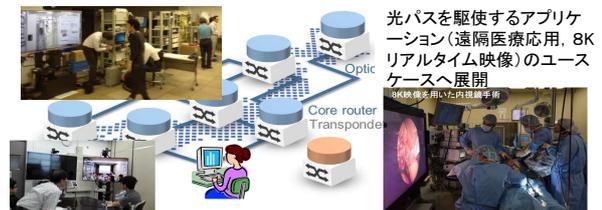
製造ロボット変調器構造設計

- 縦型PN構造を用いたプロセスの安定化
- 縦型PN構造による高効率化: $V_{\text{rL}} < 1 \text{ Vcm}$

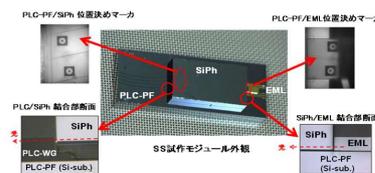
12.5 Gbps
 $V_{\text{d}} = 3.5 \text{ V}$, single drive
アミダマン

超低エネルギー・大容量光ネットワーク

臨海副都心センター都内テストベッドを構築



光デバイス産業の英知の集結と開発強化
産総研コンソ「PHOENICS」でハイブリッド集積試作を実施



PHOENICS : 総合的な光デバイス・システムを目指す、光デバイス関連企業11社との連携体制

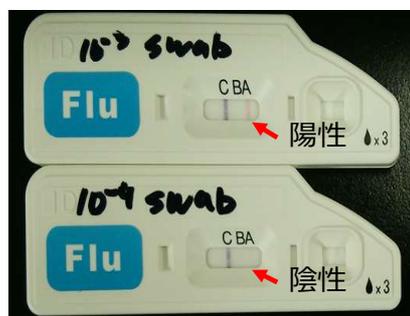
背景：高感度ウイルスセンサの必要性

簡易検査の高感度化ニーズ

病院での簡易キットによる感染検査(例えば、インフルエンザウイルスの感染検査)では、感染初期では、しばしば陰性と診断される

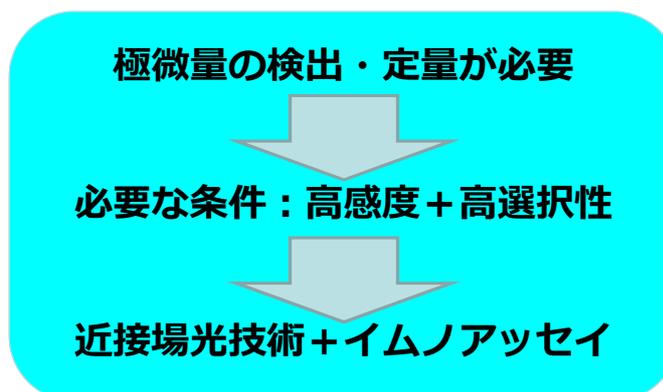
- 治療薬(タミフル、リレンザなど)の服用が遅れ、薬効低下。
- 陰性と思いこみ、感染を拡大させる恐れ。

高感度で、安価かつ取扱いが簡単なウイルスセンサのニーズは高い。



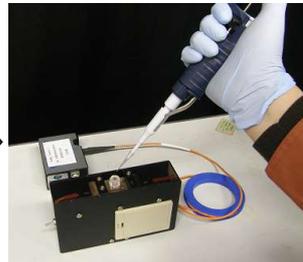
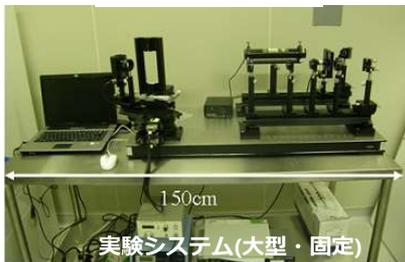
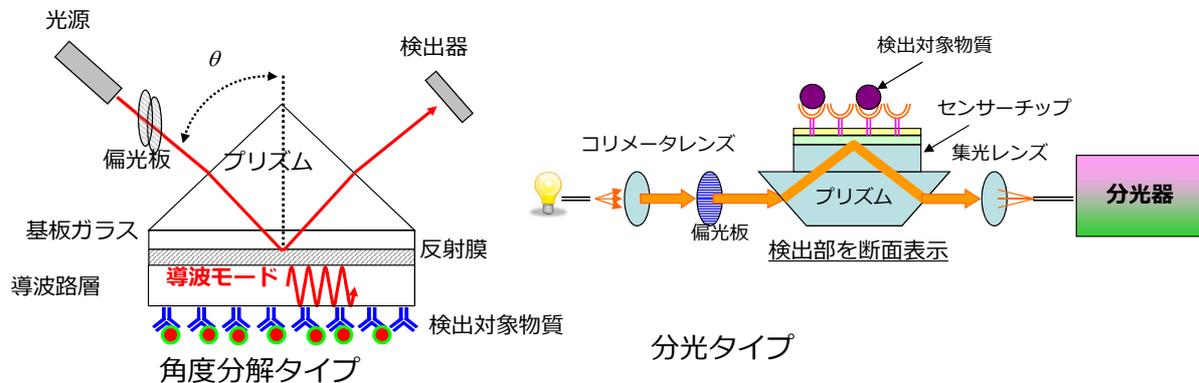
陽性と判断されたサンプル(上)を10倍希釈しただけで陰性(下)と判定されてしまった例。この陰性サンプルは精密検査では陽性判定される。

背景：微量生体物質の高感度検出



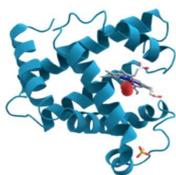
- センサ表面に固定した抗体が検出対象だけを捕まえる (高選択性)
- 近接場光を使ってセンサ表面だけをセンシング領域に
- センサ表面の僅かな変化も検出可能 (高感度)

小型導波モードセンサの開発

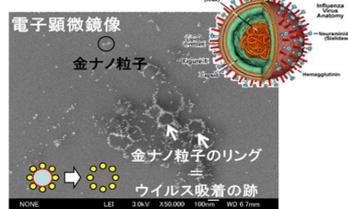


特許第5885350号、米
国特許8937721号
X. Wang et al., Opt.
Express 19(21), 20205-
20213 (2011).
M. Fujimaki et al., Opt.
Express, 23(9), 10925-
10937 (2015).

導波モードセンサー 検出実績・報告例



タンパク質
(表面吸着による n 変化)
OPTICS EXPRESS,16-9,p.6408(2008).



電子顕微鏡像
金ナノ粒子
金ナノ粒子のリング
ウイルス吸着の跡
金ナノ粒子/ウイルス
(表面吸着による k 変化)
OPTICS EXPRESS,18-15,p.15732(2010).
PLOS ONE,8-7,p.e69121(2013).



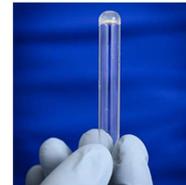
重金属
(表面での析出による k 変化)
2014年度電気化学学会第81回大会発表



メッキ液の劣化診断
(工業材料各種の品質管理)
(表面での析出による k 変化)
表面技術, 67-11, p.575(2016).



血液検査
例えばABO検査
(表面近傍での k 変化)
Sensing and Bio-Sensing Research, 7,
p.121(2016).



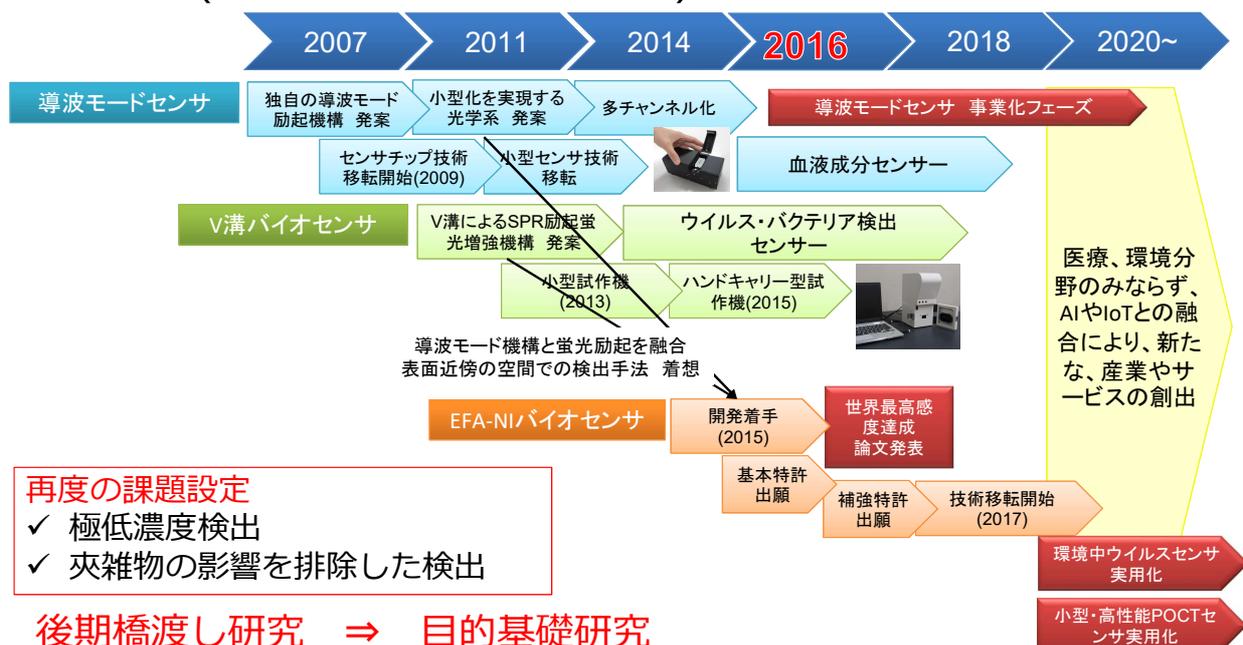
画像はロンザジャパン(株)のホームページより引用
<http://www.lonzabio.jp/products/endotoxin/outline/gell.html>

エンドトキシン
(ゲル化反応)
(表面近傍での n 変化)
2014年応用物理学会(秋季)

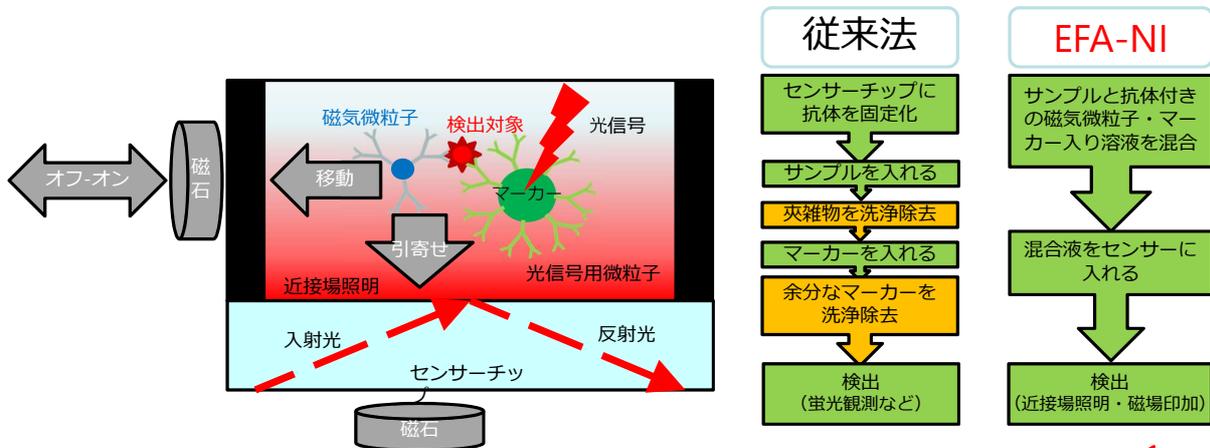
導波モードセンサの企業との共同研究実績

- **A株式会社**
「導波モードセンサー開発に関する研究」「導波モードセンサーに関する実用化研究」
- **有限会社B**
「エバネセント場結合型光導波モードセンサーに関する研究」「糖鎖ポリマーブラシによる光導波モードバイオセンサーの開発」「導波モードを用いた有害物質検出センサーの開発」「導波モードセンサー、V溝バイオセンサーを用いた環境有害物質およびバイオマーカーの微量検出に関する研究」
- **C株式会社、株式会社D**
「導波モードセンサーを用いた水質分析センサーの開発」「導波モードを用いた水質管理用センサーの開発」「救急および災害現場で用いるポータブル血液検査装置の開発」
- **株式会社E、F株式会社**
「めっき液中添加剤の劣化に起因するめっき液性能劣化診断用計測器の開発」
- **G株式会社、H株式会社**
「インライン型極低濃度重金属汚染検出器の開発に関する研究」
- **I株式会社**
「光による検出技術を応用した菌およびウイルスセンサ開発に関する研究」
- **株式会社**
「モバイル型高感度インフルエンザセンサの開発に関する研究」
- **K株式会社**
「導波モードセンサーを用いた止血検査装置の開発に関する研究」
- その他(企業以外)：近畿大学薬学部、日本大学医学部、筑波大学、早稲田大学、滋賀県、などと共同研究

外力支援近接場照明バイオセンサ (EFA-NIバイオセンサ) ロードマップ



外力支援近接場照明バイオセンサ “EFA-NI biosensor”



- 磁力(外力)で「動かせる光信号」に
- 洗浄不要で迅速・簡単検出

洗浄不要

EFA-NIの利点と従来法との差異

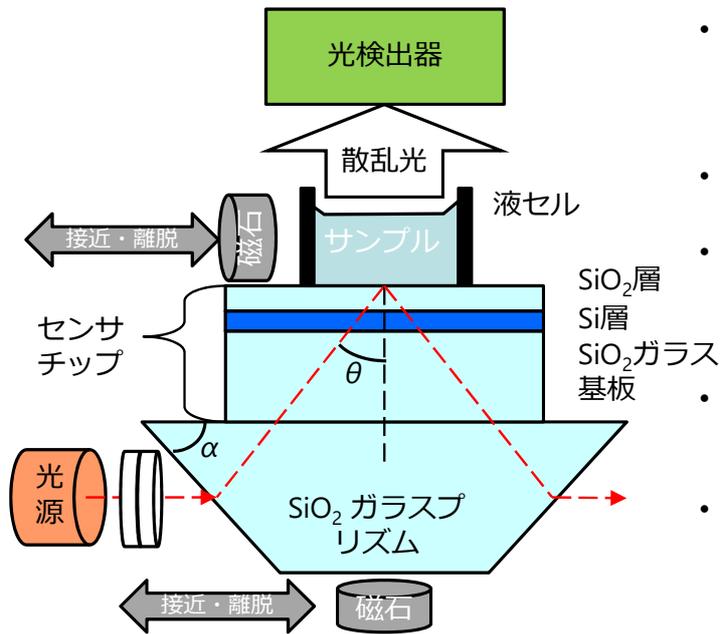


従来方式
 センサー表面に固定した抗体で検出対象を捕まえて、「動けなく」してからマーカーを付ける
 ⇒表面のキズや汚れ、洗い残しのマーカーなどからの信号と検出対象に付着したマーカーからの信号が**区別**できず、誤検知の恐れ

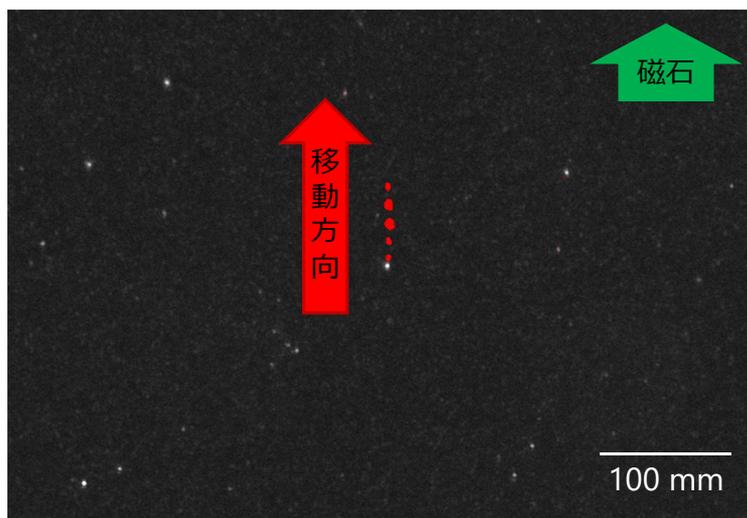
EFA-NI
 磁気微粒子とマーカーの両方で検出対象を捕まえて、「動かせる光点」をつくる
 ⇒磁力で動かすことで、表面のキズや汚れ、洗い残しのマーカーと簡単に**区別可能**

- キズ・汚れと区別できるため、蛍光より強い**散乱光**が使える
- 低倍率で広域を観測できるため、**大容量化**に対応可能

実験条件



- センサチップ
 - SiO₂/Si/SiO₂の三層構造
 - 0.725 mm/36 nm/364 nm
 - λ=644nmを増強(~124倍)
- 光源
 - Xeランプ(150W)、S偏光
- 光検出器
 - 冷却CCDカメラ
 - BU-59LIR(BITRAN)
 - 5X対物レンズ(Mitsutoyo)
- 液セル
 - シリコンゴムシート
 - 厚さ5 mm、穴直径8 mm
- 検出対象と検出液内容物
 - 検出対象：ノロウイルス様粒子
 - 磁気微粒子MP：25 nm径
 - 光信号用微粒子:500 nm径ポリスチレンビーズ



ノロウイルス様粒子 (NoVLP) 40個/100 μl検出時の画像 (動画あり)

全視野(3380×2704 pixel)中から、動かせる光点が映っている視野(800×600 pixel)を抜き出し、光点の軌跡を約3秒おきに赤で示した。

動画は、約0.7秒間隔の撮像に対し10 fpsのため、早回しとなっている。

疑似環境サンプルでの検出

- サンプル100 μ l
 - 下水二次処理水100 μ lにNoVLP(~80個)添加
- 検出液100 μ l
 - 磁気微粒子(~ 10^4 個)
 - ポリスチレンビーズ(~ 10^3 個)
- 混合⇒投入⇒検出
 - 今回は混合液200 μ l全てを液セルへ投入
- 2点の磁場印加で動く光点を確認
 - 検出に成功

まとめ：EFA-NIで何ができたのか

- ◆リン酸緩衝液(バッファー)中の正常マウスIgG検出
マウス血中に含まれる抗体(IgG)に対して、2種類の抗マウス抗体(それぞれ磁気ビーズ、ポリスチレビーズ付き)を用いて「2000個/100 μ l (約30 aM)」の検出に成功。
- ◆水中のノロウイルス様粒子の検出
「40個/100 μ l (約0.7 aM)」の検出に成功
- ◆下水二次処理水中のノロウイルスのウイルス様粒子の検出
「40個/100 μ l (約0.7 aM)」の検出に成功

ベンチマーク (感度比較)

1 nM = 6.02×10^{11} 個/ml

1 pM = 6.02×10^8 個/ml

1 fM = 6.02×10^5 個/ml

1 aM = 6.02×10^2 個/ml

1 zM = 0.602 個/m
(Mはmol/l)

イムノクロマトグラフィー

導波モードセンサー(※)

V溝バイオセンサー(※※)

酵素結合免疫吸着法(ELISA)

Enzyme-linked ImmunoSorbent Assay

化学発光酵素免疫測定法(CLEIA)

Chemiluminescent enzyme immunoassays

デジタルELIZA

EFA-NIバイオセンサー

リアルタイムPCR

←1ml中に対象物質が含まれない

(※)ラベルフリー測定(標識なしでの検出)が可能。
物理的、化学的安定性が高く、ハードな環境下で使用可能。
(※※)流路/センサー一体型、という点で特徴あり。

感度としては、抗原抗体反応を用いたバイオセンサー中では最高感度(aMレベル)。
遺伝子増幅を用いる手法(PCR)の内でも高感度なリアルタイムPCRよりは1桁低感度。

ベンチマーク (定量性・測定時間)

	定量性	測定時間
イムノクロマトグラフィー	なし。(陽性/陰性検査) 専用リーダーを使えば凡そ その濃度推定は可能。	10分前後
導波モードセンサ (ラベルフリー検出と標識化検出がある。)	良好。	ラベルフリー検出ではリアルタイム測定。 標識化検出では1~4時間
V溝バイオセンサ	良好。	1~4時間
酵素結合免疫吸着法(ELISA)	良好	1~4時間
化学発光酵素免疫測定法CLEIA)	良好	1~4時間
デジタルエライザ	良好	1~4時間
リアルタイムPCR (サーマルサイクラーを用いるものと連続流タイプとがある。)	良好	サーマルサイクラーでは2~3時間 連続流タイプでは20分前後
EFA-NIバイオセンサ	悪い(改良研究中)	5分前後(※)

(※)3次元空間(液中)で抗原抗体反応を生じさせるため、イムノクロマトグラフィーよりも短時間で検出が可能。

成果のまとめ

【「橋渡し」につながる基礎研究推進に伴い得られた成果】

- ・スピントロニクス研究センター長 湯浅新治が平成28年度 文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)を受賞「巨大トンネル磁気抵抗効果の研究」。
- ・ナノエレクトロニクス研究部門首席研究員 富永淳二が平成28年度 本多フロンティア賞を受賞「低消費電力型超格子相変化メモリの開発と、そのトポロジカル物性の発見」。
- ・スピントロニクス研究センターにおいて、産総研オリジナル提案技術である物理乱数発生器「スピンドイス」の論文が第38回応用物理学会優秀論文賞を受賞。
- ・IF10以上の論文誌(Nature Nanotechnology、Nature Communications、Nature Materials、Nano Letters)に8報掲載。

【論文の合計被引用数】

- ・目標値:6,800件(昨年度実績値6,699件に対し101件増の目標)
- ・実績値:6,327件(平成28年12月末現在)
- ・見込み:6,800件(平成28年度末)

【論文数】

- ・目標値:400報(昨年度実績値345件に対し55件増の目標)
- ・実績値:178報(平成28年12月末現在)
- ・見込み:360報(平成28年度末)

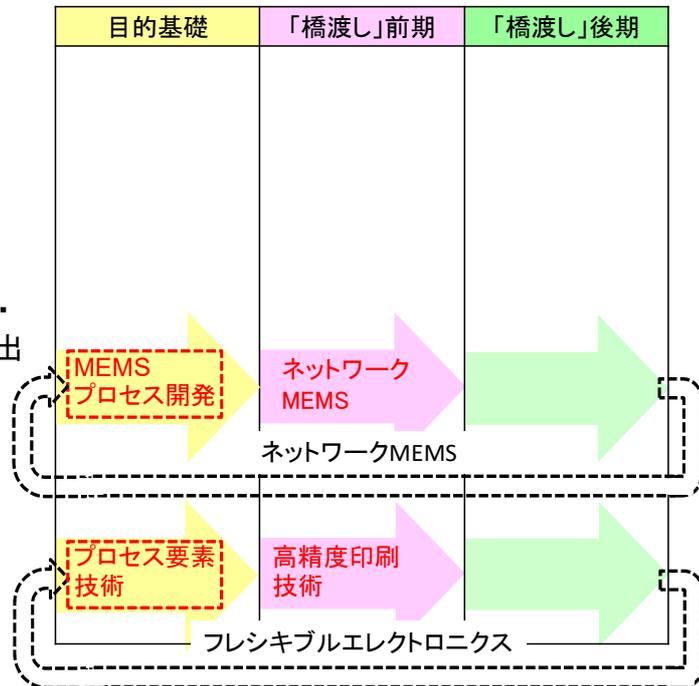
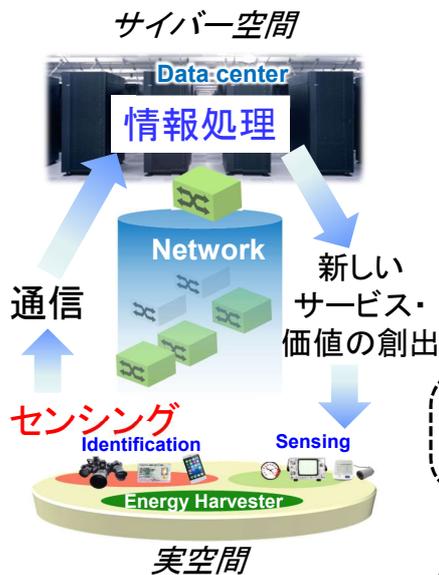
【大学や他の研究機関との連携状況】

- ・名古屋大学、東京大学に共同ラボを開設し、大学内技術シーズとの異分野融合や橋渡し研究を加速。
- ・東京大学柏キャンパスにて、人工知能に関するグローバル研究開発拠点の設置準備。
- ・クロスアポイントメント制度にて、名古屋大学(制度第一号)、東北大学、九州工業大学の教員が産総研にて研究推進。一方、産総研から大学へのクロスアポイントを準備中(東京大学、東北大学)
- ・海外の大学/研究機関と14件の国際共同研究を実施(昨年度実績値18件)。
- ・理化学研究所と共催でワークショップを開催、量子アニーリング機械実現に向け共同研究としてNEDO事業「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」を実施。
- ・共同研究数(国内:大学224件、研究独法31件、国外:大学9件、研究機関5件)

2. 「橋渡し」のための研究開発

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

「橋渡し」研究前期における今年度の主な成果



(2)「橋渡し」研究前期における研究開発

①「ネットワークMEMS」

集積マイクロシステム研究センター
センター長
廣島 洋

ネットワークMEMS

多数のMEMSセンサの情報を活用

無線化によって

- 配置自由度を向上(どこでも置ける)
- 配置個数制限を緩和(いくらでも置ける)

システム化によって

- 常時モニタリングを実現(いつでも計れる)
- 相互比較により特徴を抽出(高感度に計れる)

「橋渡し」前期における研究開発 ネットワークMEMS ロードマップ(2テーマ)

**2017~18年度に
本格実証試験**



プロジェクト 道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発

道路

2033年には**267,000**橋が50年越え

点検には、大勢の熟練検査員・補修員が必要

定期点検は5年に1回 点検間隔の間に損傷が重度化

目的

老朽化道路インフラ(50年経過道路橋)の補修コストの低減
橋梁の健全性を適切に評価し、低コストでの保全を図る

手法

ひずみセンサアレイ**集積化フレキシブル面パターンセンサ**による
ひずみ分布測定システムによる**橋梁の常時モニタリング**

① 極薄シリコンひずみセンサ転写技術

② 配線付き耐候性シートデバイス技術

③ システム化、実証試験

新規性・優位性

- ・極薄シリコン転写によるセンサ、回路の**フレキシブル集積化**
- ・高耐久バリア層と、耐腐食性配線による**10年以上の耐候性**
- ・ひずみ分布により**ひび発生箇所の予測・発見**

MEMS実装型センサアレイ

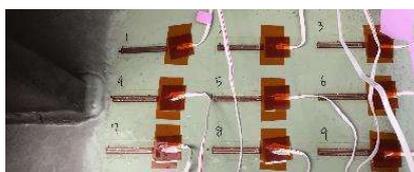
高感度、温度特性良好
コスト大、最大ひずみ1,000 $\mu\epsilon$

- ・MEMS技術で作製した**極薄PZT/Si**をフレキシ板上にアレイ化
- ・Amp、ADC、MCU、RF-IC集積モジュールでデータ処理、通信

- ・圧電MEMSによる高感度PZTひずみセンサ技術
- ・実装機を用いた極薄PZT/Siの転写技術
- ・スクリーン印刷による配線技術

従来技術の課題

市販ひずみゲージは消費電力大、アレイ施工困難、配線が複雑



市販ひずみゲージアレイ

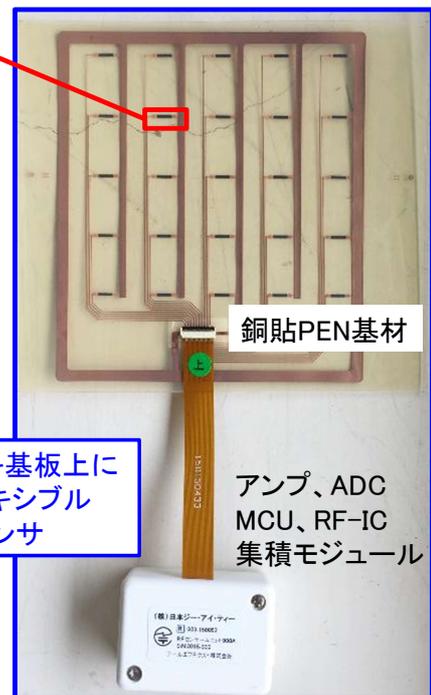
極薄PZT/Si



特願2015-171314

極薄PZT/Siをフレキシ板上にアレイ化したフレキシブル面パターンセンサ

12cm



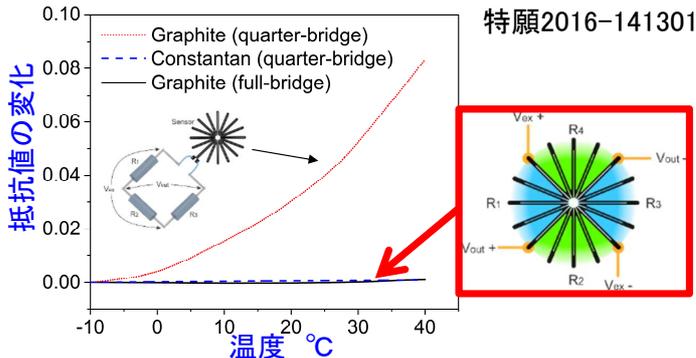
銅貼PEN基材

アンプ、ADC
MCU、RF-IC
集積モジュール

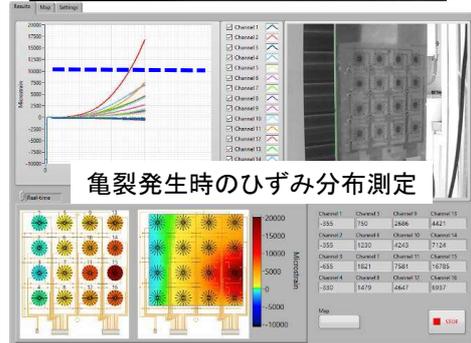
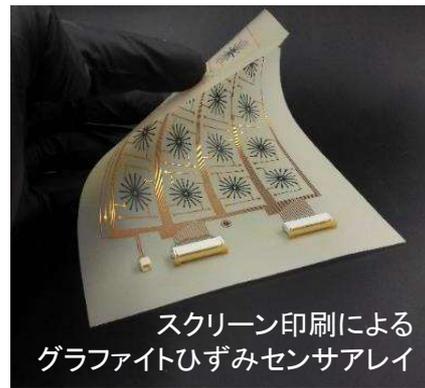
スクリーン印刷型センサアレイ

低コスト、大面積化、高密度、大ひずみ対応10,000 $\mu\epsilon$
 感度が悪い、温度特性が悪い、回路が複雑

- ・印刷性が良く、GFが高いグラファイトを抵抗に選定
- ・フルブリッジ構成により大幅に温特を改善
- ・10000 $\mu\epsilon$ 以上のひずみ計測を実証



対称性の良いフルブリッジ構成により
 温度特性が実用化レベルに大幅改善

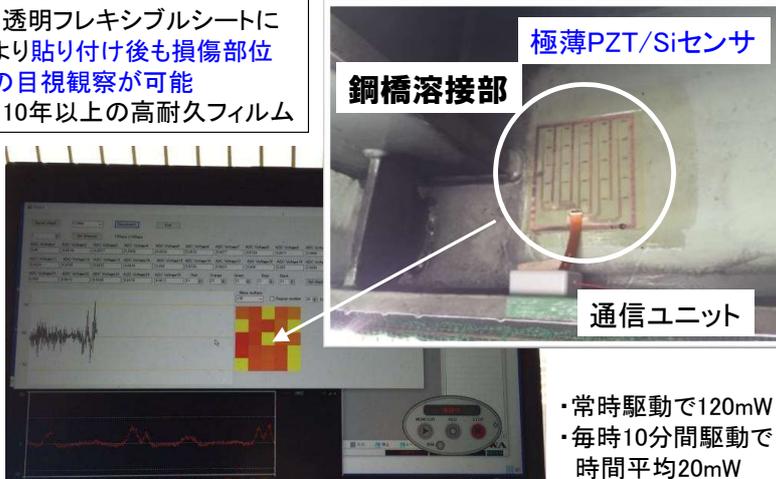


実証実験

阪神高速13号線法円坂橋梁で予備実証実験中
 課題を抽出して本格的実証実験に臨む

コンクリ橋脚のひび上に
 センサを貼り付け

- ・透明フレキシブルシートにより貼り付け後も損傷部位の目視観察が可能
- ・10年以上の高耐久フィルム



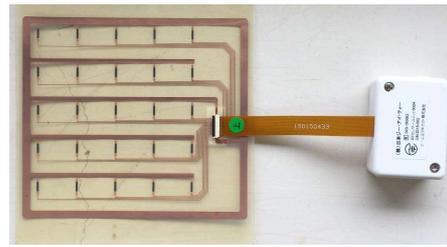
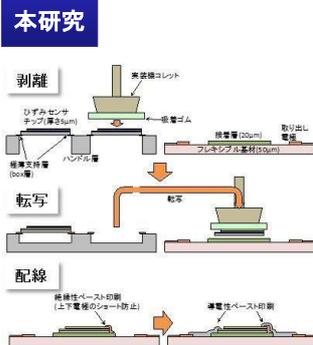
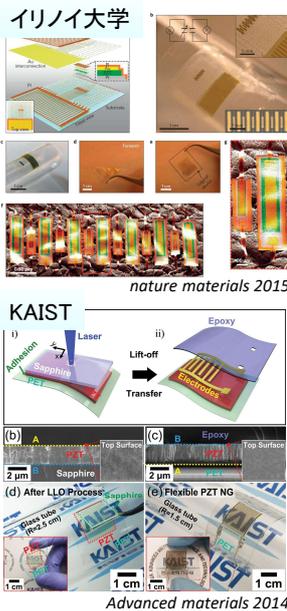
- ・通行車両の動ひずみ(10~100 $\mu\epsilon$)を検出
- ・十分な感度でひずみ分布を表示
- ・溶接部の応力集中を可視化

- ・常時駆動で120mW
- ・毎時10分間駆動で時間平均20mW

市販の太陽電池で十分に駆動可能

- ・動ひずみ振幅異常を可視化
- ・凹凸面上でもセンサが機能

国内外の研究機関に対するベンチマーク



“Dynamic Strain Distribution Sensor Sheet Based on Ultra-Thin PZT/Si Array on Flexible Substrate for Bridge Monitoring Wireless Sensor Network”
to be orally presented in Transducers 2017

TransducersはMEMS関係で最大級の学会（採択率55%）

Si ウエハが使える、デバイス寸法に制限がない、裏面がフラット、実装機が使える（アライメントが可能、高速実装が可能）

- イリノイ大学の方法 (nature materials 2015) :
小さい素子のみに対応。転写前に動作可能状態にする必要がある。
- KAISTの方法 (Adv. Materials 2014) :
研究室レベルの成果。サファイア基板が必要。（Siウエハは利用不可）。

ネットワークMEMS ロードマップ（道路インフラ）

道路



NEDO「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」

NEDOプロ参画機関

技術研究組合 NMEMS技術研究機構
AIST 産業技術総合研究所
(株) NTTデータ、大日本印刷(株)、(株)東芝、日本ガイシ(株)、富士電機(株)、三菱電機(株)、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)、阪神高速道路(株)、(株)日立製作所、横川電機(株)、東京大学[再委託]、京都大学[再委託]

2017~19年度にかけて 実証試験から実際の維持管理へ展開



プロジェクト ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発

ポンプ

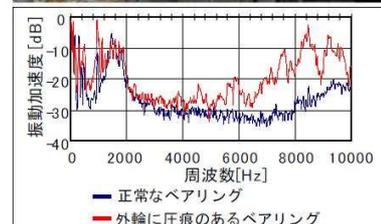
目的 公共的な施設の熱供給設備に設置されているポンプを対象とした、**早期異常検知・メンテナンス時期予想**が行えるモニタリングシステムを開発

手法 **振動発電を備えた自立型で小型な無線振動センサ端末を開発し、無線センサネットワークを構築することで、ポンプ振動の常時モニタリングを実現する。**

① 鹿威し方式振動センシング技術

② ScAlN圧電MEMS振動発電技術

③ システム化、実証試験



新規性・優位性

・低インシャルコスト、メンテナンスフリー

現状センサの下記問題を解決

- ・有線センサ・・・高い敷設コストと配線の困難さ
- ・無線センサ・・・短い電池寿命

背景

従来の各種設備の劣化診断は、定期巡回においての保守員の経験と勘頼りであり、安定で十分な品質の管理が行えていない。

定期巡回による点検項目

- 機器
 - ・ 目視、異常音の確認、電流値の検診
 - ・ 簡易振動計を用いたスポット測定
- 電気設備
 - ・ 絶縁抵抗値の測定
 - ・ 電流系の検診、異常音の確認
- 配管
 - ・ 配管内温度の測定
 - ・ 漏水検知による発報



ペン型簡易振動計



定期巡回



サーモカメラ

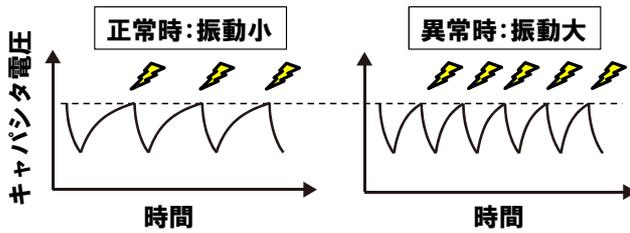
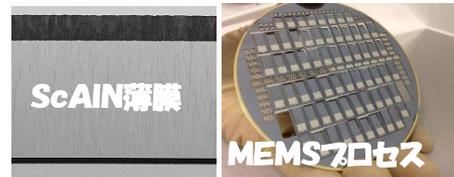
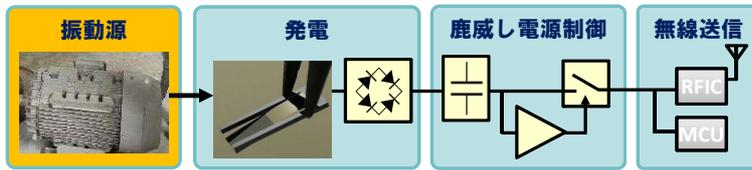
センサ端末や設置工事費用、建物に合わせたシステム構築が必要で、投資費用がかさむため、自動化診断システムの普及が進んでいない。

技術内容

メンテナンスフリー（電源・電池交換不要）の自立電源無線振動センサ端末システム開発

② ScAlN圧電MEMS振動発電技術

① 鹿威し方式振動センシング技術



無線送信頻度から振動レベルを検知
超低消費電力

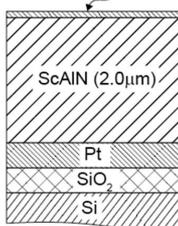
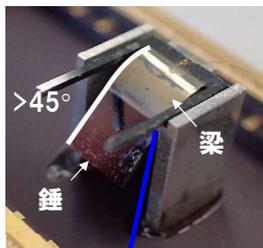
③ システム化、実証試験



成果1

ScAlN薄膜の応力を克服し、性能を維持してScAlN薄膜を集積MEMS片持ち梁型の高性能振動発電デバイスを開発

ScAlN薄膜の応力による変形



梁の断面図

変形の少ない片持ち梁を開発、
発電量66%↑

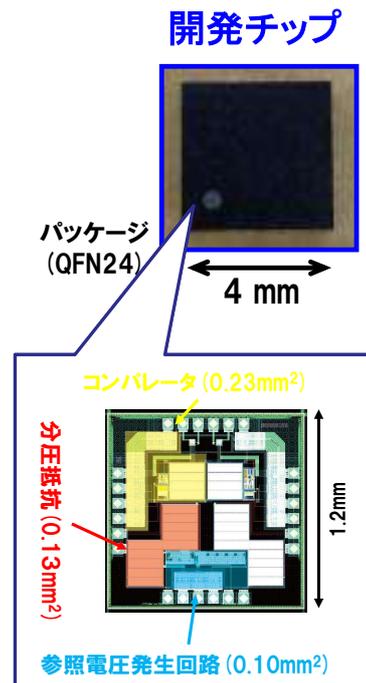
梁の断面図

成果2

無線振動センサ端末用の
消費電力nWオーダー電源制御回路を開発

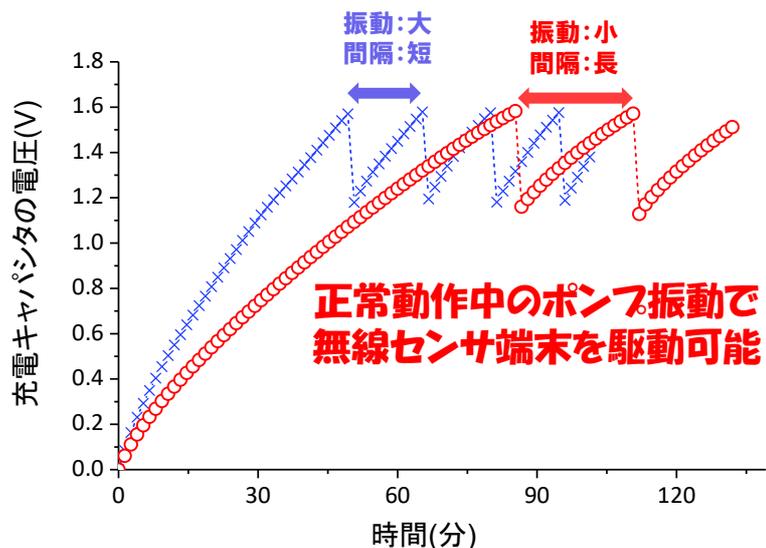
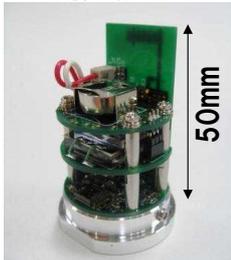
消費電力 (μW)		
部品	開発品	従来品
コンパレータ	0.021	0.18
BGR	0.072	2.0
その他	0.026	0.026
鹿威し消費電力	0.12	2.2

回路の消費電力を1/20に削減



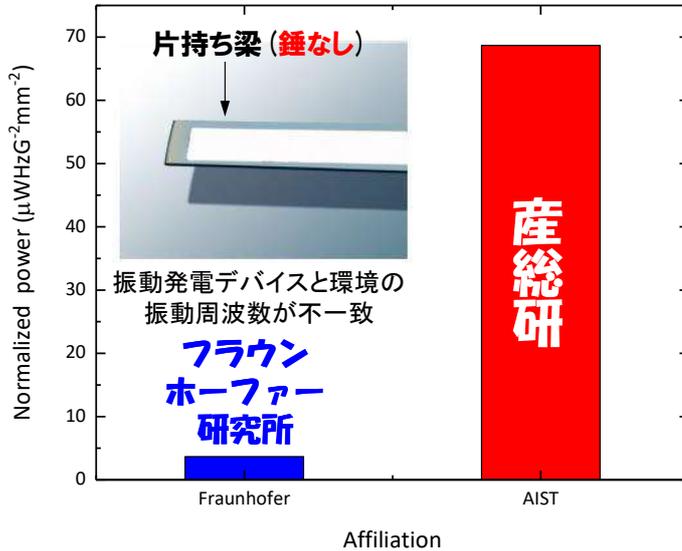
成果3 世界初、振動発電デバイスを備えたポンプモニタリング用
自立電源無線振動センサ端末を実現

開発した振動センサ端末

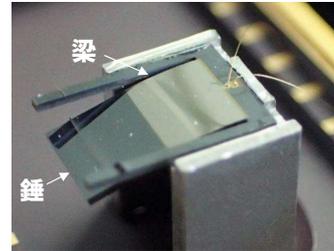


国内外の研究機関に対するベンチマーク

規格化発電量の比較



本研究 片持ち梁 (錘あり)



to be presented in Transducers 2017

TransducersはMEMS関係で最大級の学会 (採択率55%)

規格化発電量で20倍高出力!

ネットワークMEMS (ライフラインコアモニタリング)

ポンプ



NEDO「ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発」

NEDOプロ参画機関

ライフラインコア研究体



- ・(一財)マイクロマシンセンター
- ・明星電気(株)
- ・沖電気工業(株)
- ・高砂熱学工業(株)
- ・東京大学[再委託]

2017~18年度にかけて本格実証試験

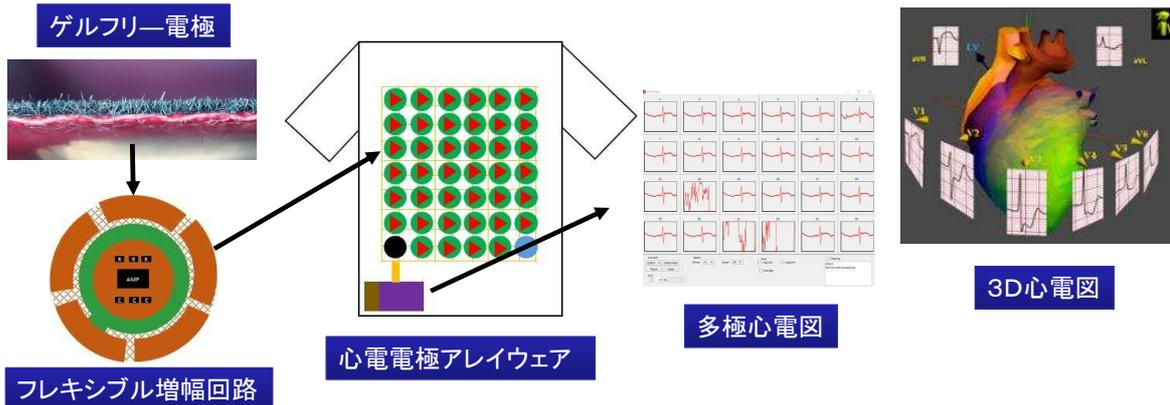
実証試験	第1期	第2期	第2期	第3期
センサー実証	-	F	N	-
橋渡し実証	F	F	F	F
100m無線	N	N	N	F
200m無線	2UP	N	F	N
...				

新規 NEDO次世代プリントドエレクトロニクス材料・プロセス基板開発に採択

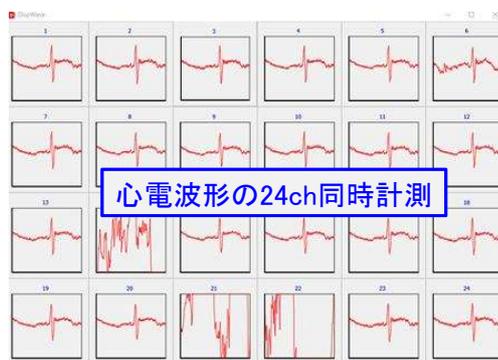
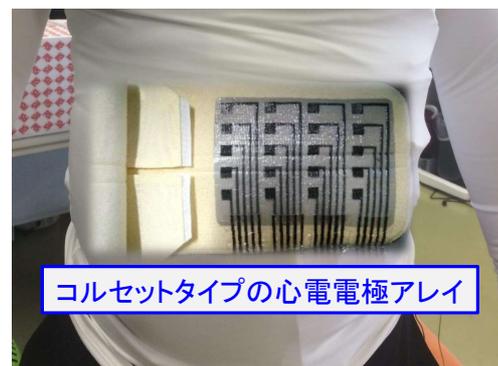
極薄シリコン回路と配線形成テキスタイルによるセンシングウェアの開発

着るだけで3D心電図を取得できる心電無線ウェアの開発

1. 3D心電図を取得可能な、**体表面心電電極ウェア**の開発
2. 心電信号を増幅する、**ウェア一体フレキシブル増幅回路アレイ**の開発
3. 多数電極からのデータを送信する**フレキシブル通信モジュール**の開発



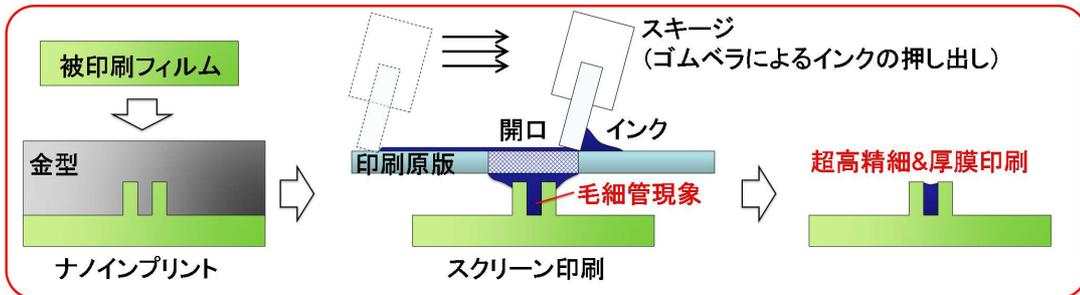
成果 プロトタイプモジュールにて、
心電波形の24ch同時計測



新規 JSTマッチングプランナープログラム「企業ニーズ解決試験」に採択

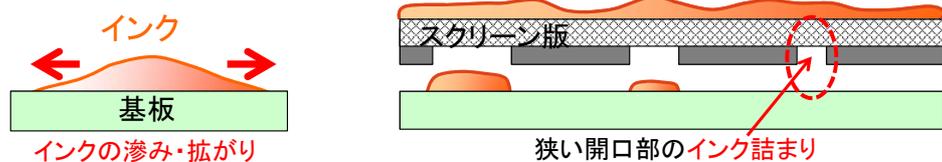
ナノインプリントによるナノスクリーン印刷技術開発

特徴 ナノインプリントとスクリーン印刷を融合
 ⇒ 毛細管現象を利用して微細構造へインクを充填

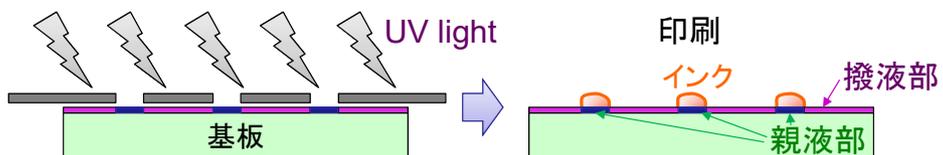


長所 ①インクが広がらない ⇒ 超高精細&厚膜で印刷できる。
 ②大きい開口幅の原版を利用 ⇒ インクが詰まりにくい。
 ⇒ 量産性良く、超高精細かつ厚膜の印刷が可能

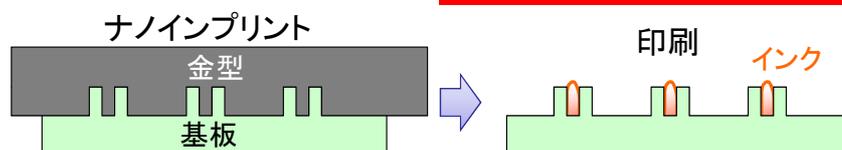
背景 従来のスクリーン印刷は細線化と厚膜化を両立できない



既存技術 光で細線化 ⇒ 回折限界 (800 nm程度が限界)



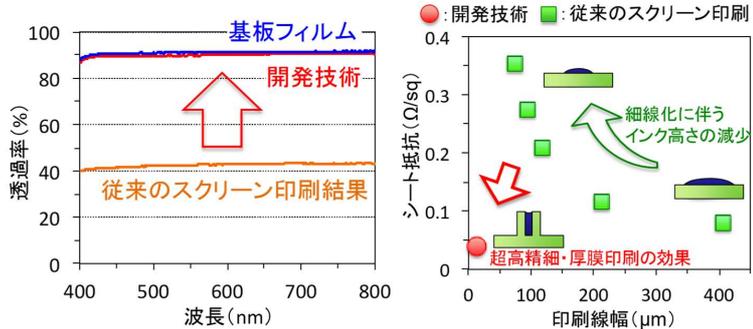
提案技術 構造で細線化 ⇒ **回折限界を超える印刷が可能**



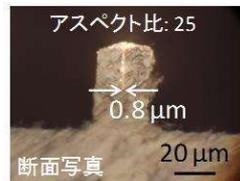
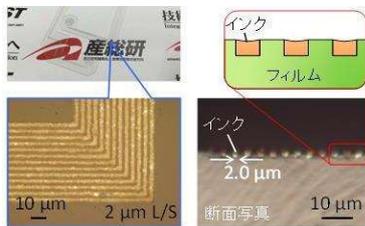
透明導電フィルムの試作



試作フィルムの特性評価



2μm L/Sの高密度配線



高アスペクト(25) 微細(0.8μm)配線

高アスペクト化(>10)で微細電極を低抵抗化できる新しい印刷技術

特願2015-208004

- ・更なる細線化
- ・タッチパネル等への応用 (連携検討中)

新規 NEDO戦略的基盤技術高度化支援事業(プロジェクト委託型)に採択

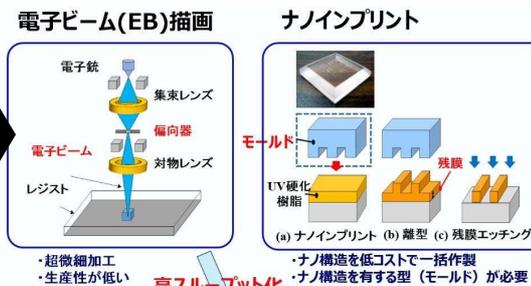
ウェハーサイズ3次元ナノインプリントモールド用超高速電子ビーム加工装置の研究開発

概要 多品種デバイス試作および量産に向けたナノインプリント用大面積モールド作製の加工技術を開発し、超高速電子ビーム加工装置とナノインプリント技術の併用による従来比1万倍以上高速のナノ加工技術を構築する。

課題

コストパフォーマンスに優れたスポット型の超高速電子ビーム加工装置の開発

(株)エリオニクス (法認定事業者)



ナノインプリントモールド用超高速電子ビーム加工装置 (従来比1万倍) 高生産性ナノパターン形成を実証

リソグラフィ用特殊モールド作製技術の開発

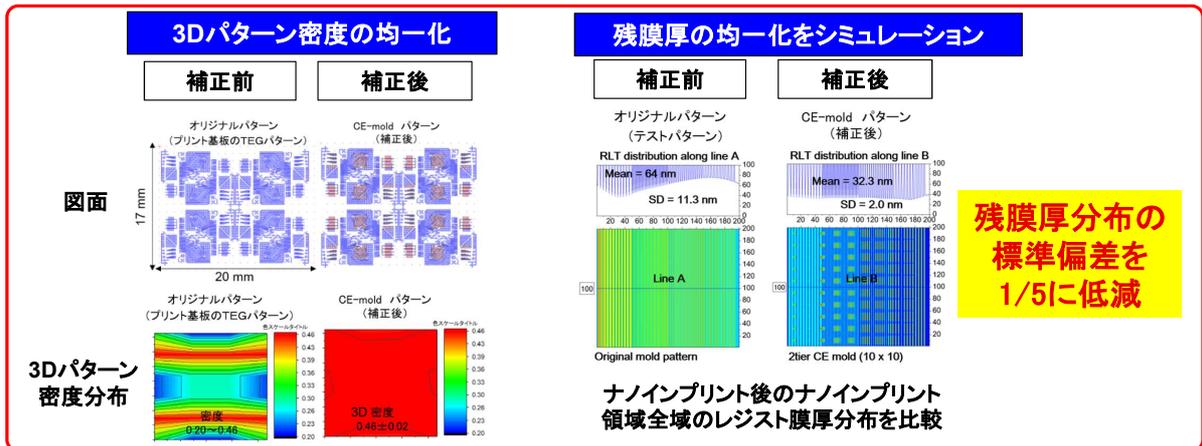
- 課題1) 3次元ナノインプリントモールド作製技術の開発
- 課題2) 大面積高精度ナノインプリントリソグラフィ技術の開発

産業技術総合研究所 (橋渡し研究機関)

成果1 ナノインプリントリソグラフィ用モールドパターン設計ソフトウェアの開発

特許第5004225 特願2016-088191
基本アイデア プログラム化

- 特徴**
- ・デバイスパターン図面からナノインプリントモールド用パターンを発生
(残膜均一化が可能な容積均一化モールド図面に変換)
 - ・大容量GDSIIファイルに対して、3Dパターン密度を均一化するための
自動区画分割、高速描画、高速データ処理を実現

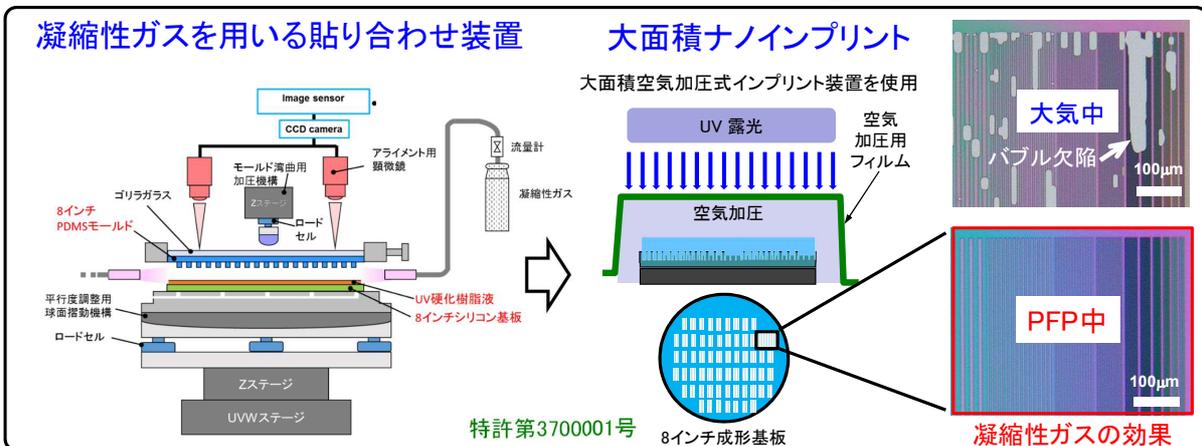


成果2 凝縮性ガスを用いる貼り合わせ装置の開発

- 特徴**
- 凝縮性ガス雰囲気下の貼り合わせにより、
バブル欠陥を200mmウエハ全域で抑止



大面積高精度ナノインプリントリソグラフィ技術



アジアを中心とした国際連携活動

日中韓MEMS会議

MEMS/NEMS分野の日中韓3カ国の研究者(特に国立研究所 AIST、KITECH、中国科学院を中心)のジョイントセミナー 第7回(2016年9月21-23日、札幌)を開催

上海交通大学との連携

「上海交通大-産総研ジョイントワークショップ」(2016年4月19日、上海)を開催
MEMS、糖鎖、安全科学等に関する学術交流

ホーチミン市ハイテクパークとの連携

「第8回ベトナムメカトロニクス会議」(2016年11月25日、ホーチミン)に協力

その他

Shenzen Institute of Technologyとの医用工学ワークショップ(2017年3月、深圳)
ブラウンホーファ研究所との医用デバイス連携会議(2016年12月6,7日、マンハイム)

人材育成活動

ナノテクキャリアアップアライアンス(CUPAL)



イノベーション創出を牽引するプロフェッショナル(NIP) 育成事業のMEMS分野短期型プログラムを3回実施。 大学、企業等からの計12名に修了証書を授与。 (2016.10.17-21、2016.11.7-18、2016.12.5-9)

さくらサイエンスプラン



日本・アジア青少年サイエンス交流事業においてMEMS分野での人材育成を担当。 タイの若手研究者 5名。(2017.2.9-15)



TIA連携大学院サマー・オープン・フェスティバル



MNOIC実習講座としてMEMSの講座と実習を行う。 企業等から5名参加。(2016.8.25-26)

産業界との連携によるMEMS試作・ファウンドリサービス

先端試作拠点形成

(2)「橋渡し」研究前期における研究開発

②「フレキシブルエレクトロニクス」

フレキシブルエレクトロニクス研究センター
センター長
鎌田 俊英

課題の背景と目的

目的

IoT社会の推進 (自由形状デバイス) :
 ユザビリティの高い革新的な情報端末機器の開拓普及を目指した技術開発
 → フレキシブルデバイス開発

省エネ省資源プロセス (スマートマニュファクチャリング)
 市場要求に迅速にこたえられる革新的な省エネ省資源製造プロセスの開拓普及を目指した技術開発
 → 印刷デバイス製造技術開発



フレキシブルデバイス技術

センサ、アクチュエータ、回路、配線
 高使用感、人間感覚適合性、非装着違和感、デザイン自由度、

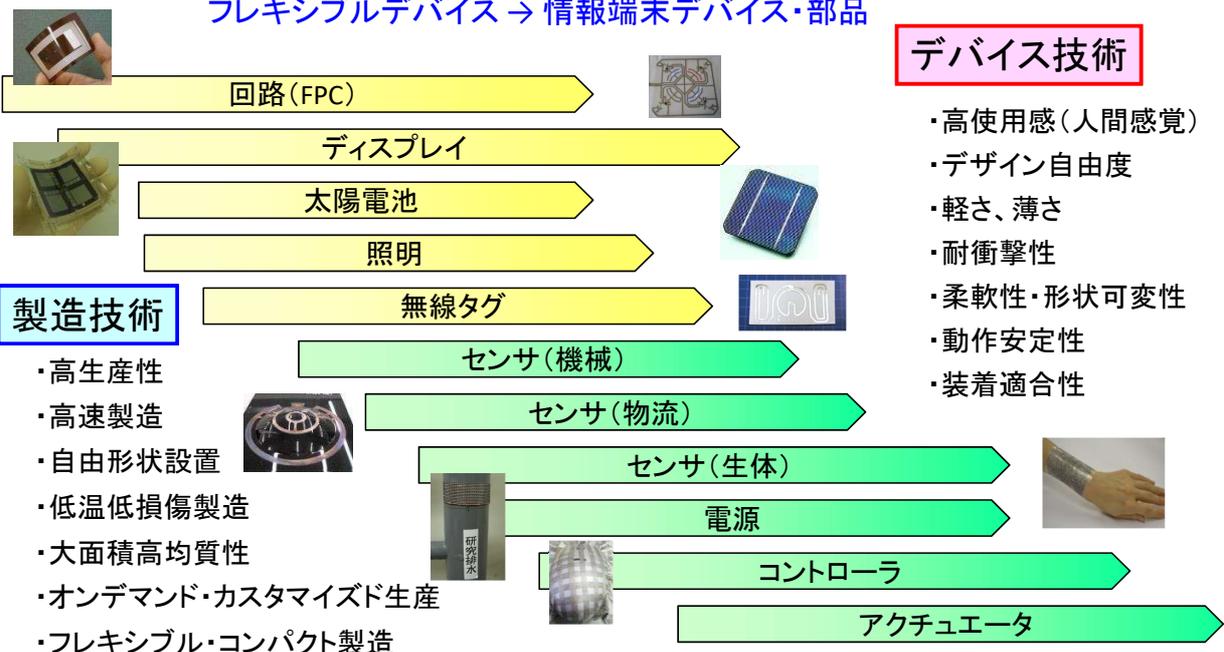
印刷デバイス製造技術

自由形状設置、高生産性、低温低損傷、大面積、高材料使用効率、高精度、高精細、高速、コンパクト、レジリエント、

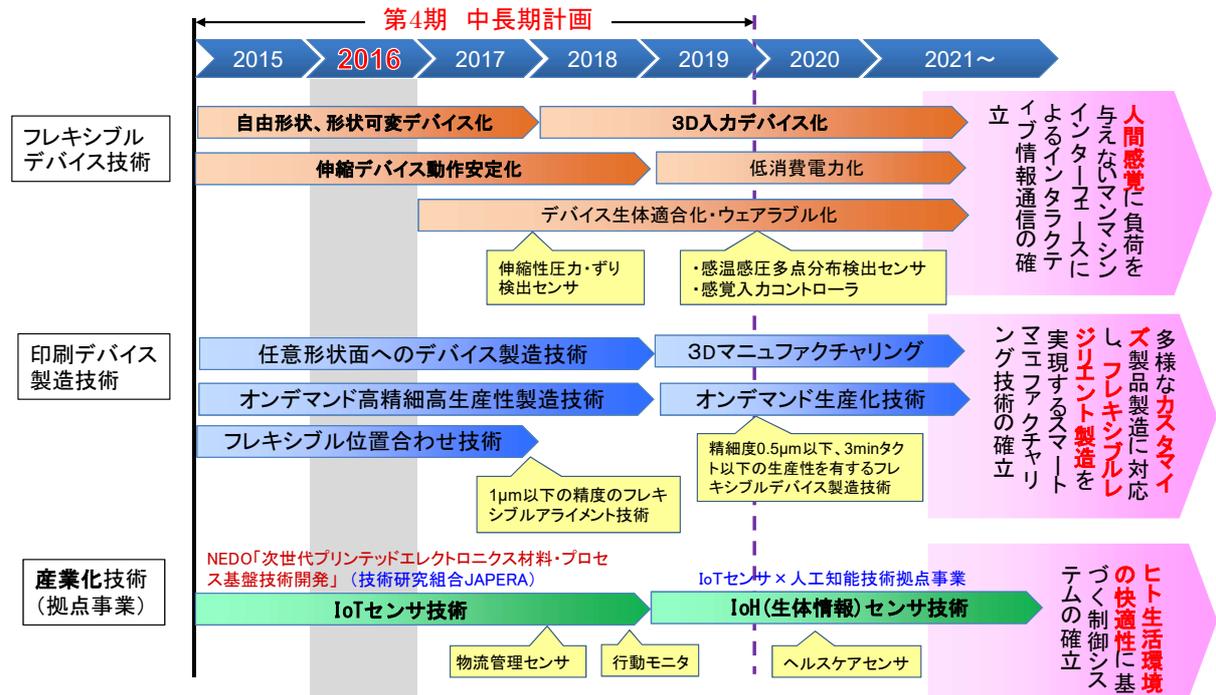
IoT端末デバイスと革新的デバイス製造技術(オンデマンド変量多品種生産)の確立

主要ターゲットデバイスと技術要求

フレキシブルデバイス → 情報端末デバイス・部品



フレキシブル印刷製造技術 ロードマップ



①伸縮性デバイス技術

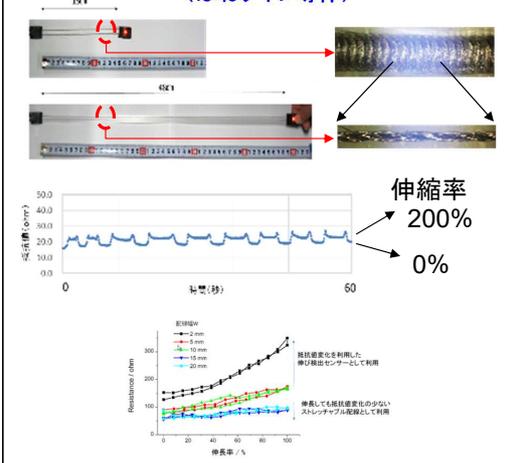
高安定性伸縮配線技術を開発

自由形状・形状可変デバイスの開発

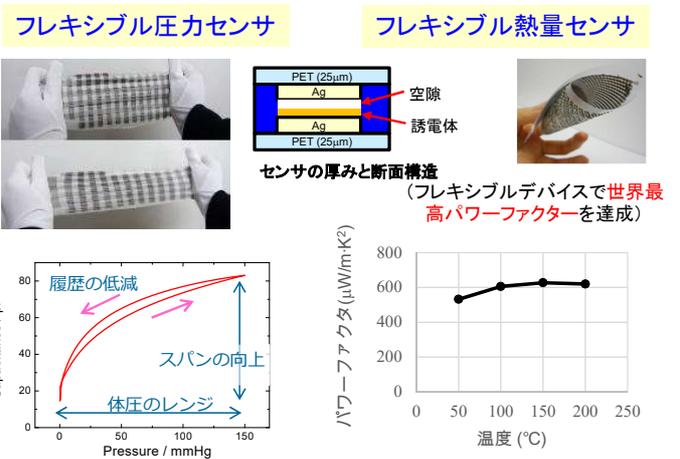
IoT用デバイス技術として企業への技術移転

- ・伸縮性配線技術を開発(新材料)。
- ・伸縮により形状が変形しても抵抗率が変化しない高安定性伸縮配線技術を開発。
- ・伸縮性圧力センサシートや自由形状センサ、熱量センサ等を実現

伸縮させても抵抗変化がない伸縮性導体技術を開発 (ばねタイプ導体)

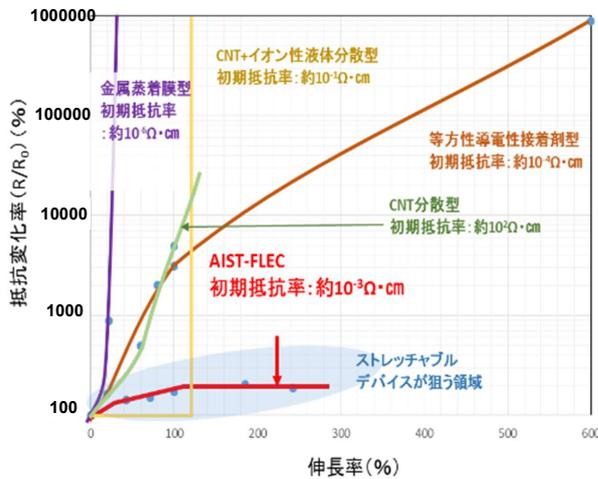


伸縮時の性能変化率が調整可能な伸縮性センサデバイス技術を開発 (伸縮性センサデバイス)



①伸縮性デバイス技術

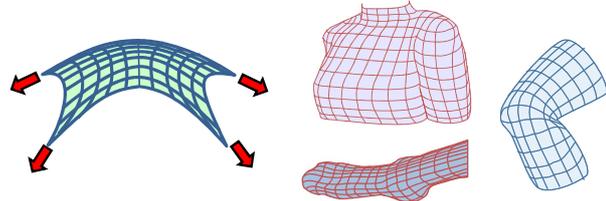
伸縮性導体技術ベンチマーク



伸縮時の配線抵抗の変化率は、最小レベル

0-200%伸長時の実配線抵抗**の変化	
金属蒸着膜型	0.02 Ω - ∞
CNTイオン性液体分散型	1k Ω - ∞
CNT分散型	1M Ω - ∞
等方性導電性接着剤型	1 Ω - 10k Ω
AIST-FLEC	10 Ω - 20 Ω

- ↔ 人間の皮膚の伸長率*
- ↔ 曲面貼付け
- ↔ スポーツウエアの伸長率*
- ↔ 医療用テクスタイル(包帯等)の伸長率*



①伸縮性デバイス技術

伸縮性センサ(圧・振動)を開発

◆ 新規に開発した伸縮性デバイス技術をもとに各種IoTセンサを開発。

【要求仕様】 任意形状追従、極小装着違和感、ソフトタッチ、動作中安定作動、etc



マウスセンサ



ウェアラブルセンサ



ハンドルセンサ



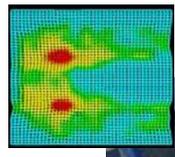
インソールセンサ



ロボットハンドセンサ



靴下センサ



シートセンサ



ベッドセンサ

IoT用デバイス技術として企業へ技術移転

②高生産性印刷製造技術

簡易高精細パターンニング技術を開発

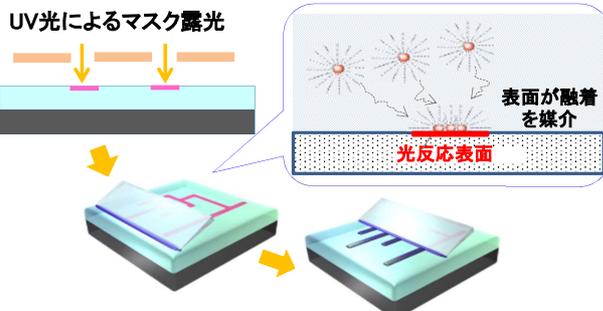
Super-Nap電子回路印刷製造法

- ・コーティングベースの簡易な印刷法で高精細パターンニングを実現
- ・光照射加工によるオンデマンド製造の実現

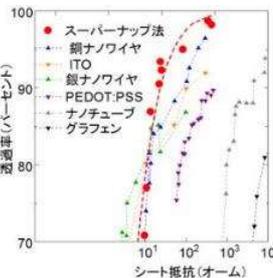
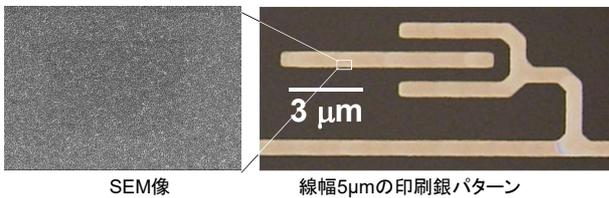
企業への技術移転により製品開発に適用開始

Nature Com. 7, 11402, (2016) 掲載

- ◆ 大面積・高精細(線幅 $0.8 \mu\text{m}$)印刷パターン形成
- ◆ フォトリソ同等分解能
- ◆ 銀ナノ粒子と基板との室温凝着化



超高精細簡易ナノメタル印刷プロセスの概略



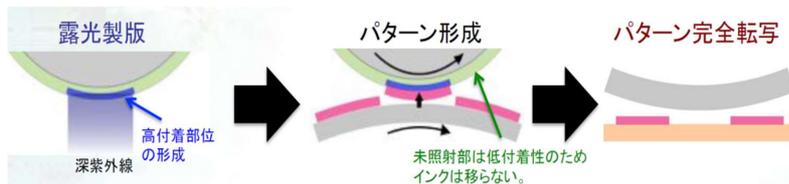
②高生産性印刷製造技術

オンデマンド印刷固体転写技術を開発

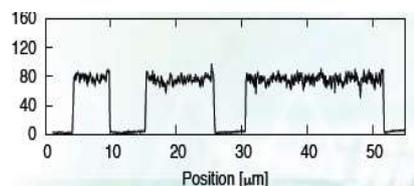
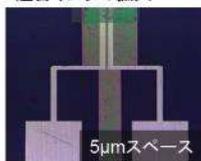
付着カコントラスト平版印刷法

- ・固体高品質化と転写を分離・独立制御による高品質高性能化。
- ・オンデマンド版形成によるカスタマイズ製造を実現
- ・サイズが大きく異なるパターンの同時均質形成を実現
- ・溶媒洗浄廃液ゼロプロセス
- ・厚膜パターンニングの実現
- ・寸法忠実性 2μm未満(平版)達成(平版印刷として世界最高レベル)

企業への技術移転
・製造装置を製品化



適合インクの拡大



レーザー直描製版



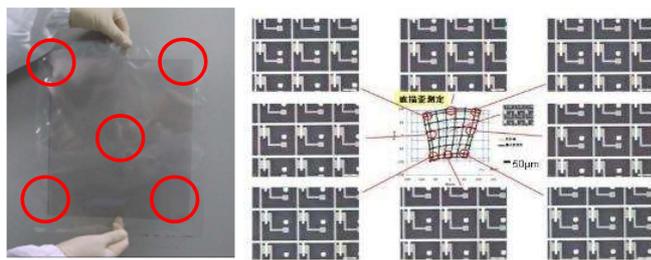
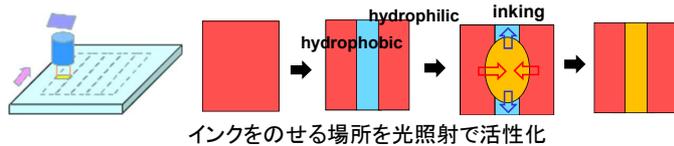
②高生産性印刷製造技術

高精度フレキシブルアライメント技術を開発

高精度フレキシブルアライメント技術を開発

製造工程中に、プロセス負荷により変形してしまうフィルム基板
 上でも、高精度合わせ精度でパターニングを可能にする技術()
 を開発。精度±2μm以下(フレキシブル位置合わせとして**世界
 最高精度**)

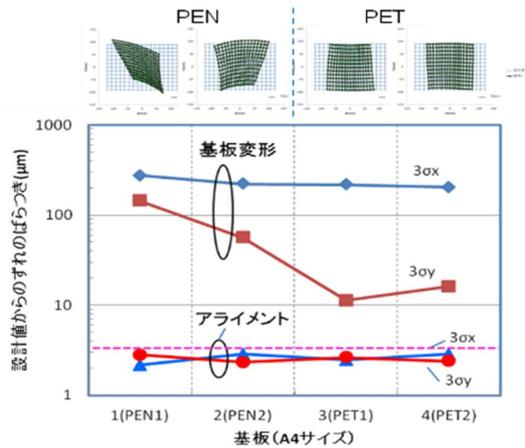
- 固定基板を用いなくてもフィルム上に高精細加工が可能
- ロールtoロール高速プロセスの適用が可能になる



基板の種類・ロットによらず、位置に
 よらず基板の変形は補正される

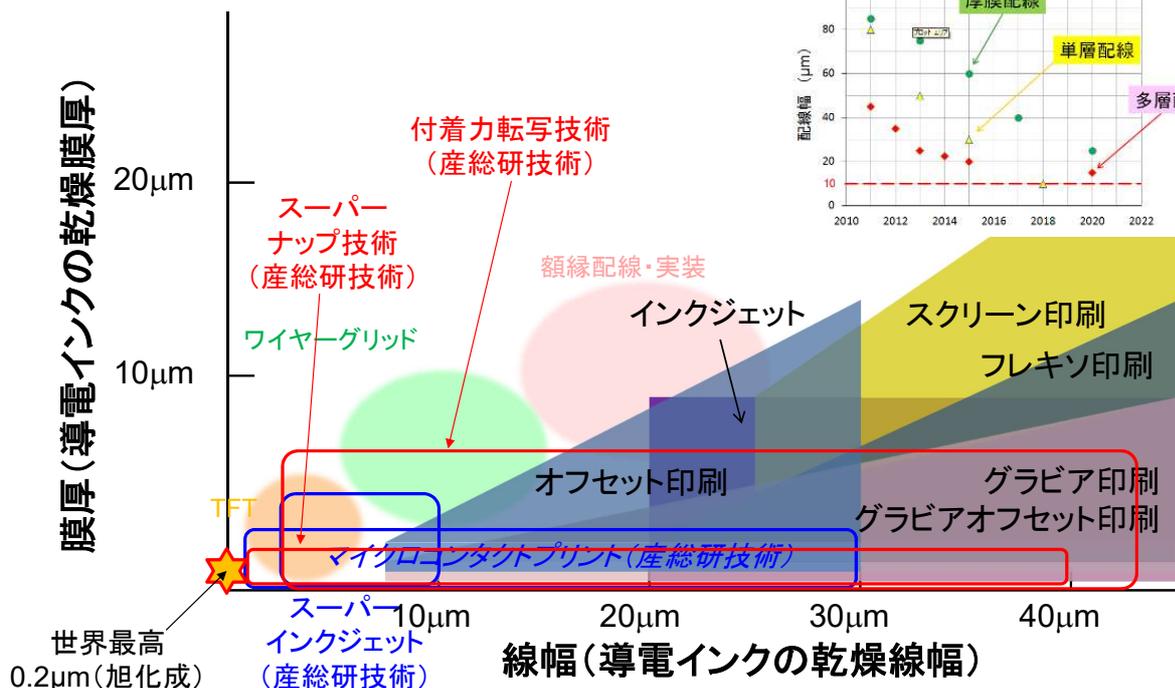


カスタマイズ生産対応技術



②高生産性印刷製造技術

高生産性高精細印刷技術のベンチマーク

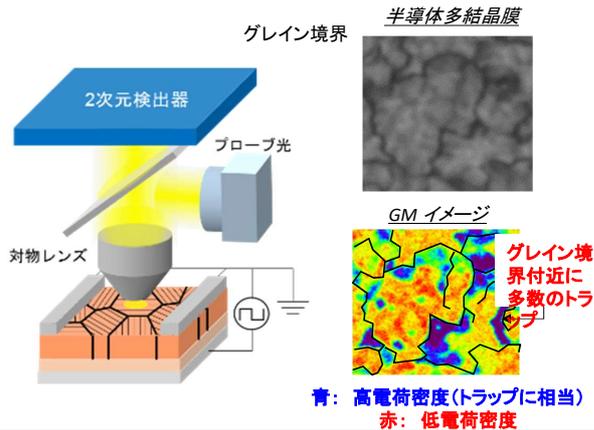


④材料評価技術

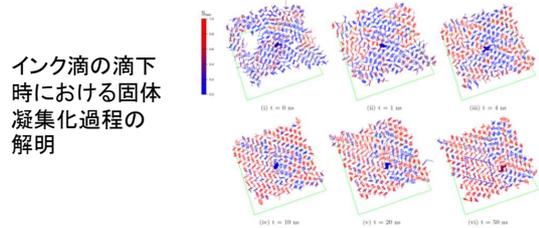
産業化技術を支える評価・原理解析技術の開発

高度フレキシブルデバイス評価技術を開発

- ・フレキシブルデバイスの電荷蓄積状態を可視化する技術を開発(世界初)
- ・従来観測できなかった、半導体層に蓄積した電荷の疎密を高空間分解能(<1μm)で光学イメージ化し、トラップの空間的な分布を可視化



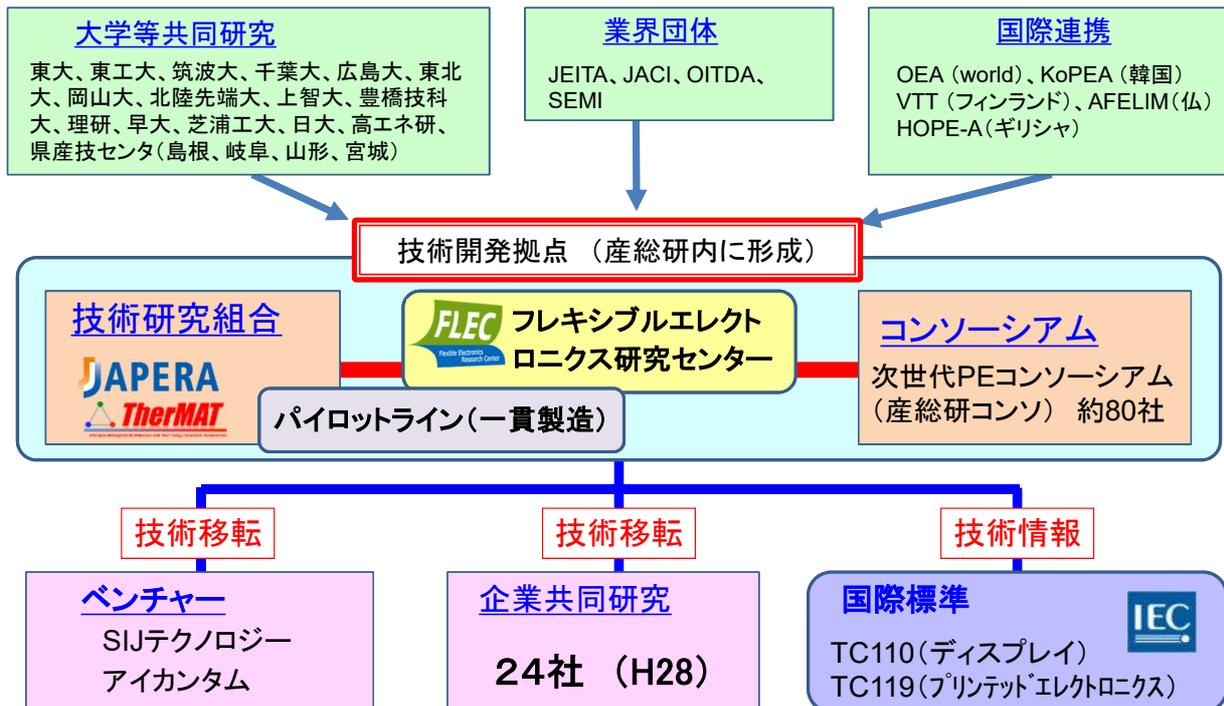
- ・インクジェット印刷により、インク材料の固体凝縮過程を可視化(世界初)
- ・印刷製造による薄膜素子形成機構を解明
→ インクジェットプロセスの最適化条件の抽出を可能にする。



原理・評価技術: 高I.F.国際誌に掲載

- Scientific Rep., 6, 19947, (2016)
- Scientific Rep., 6, 36337, (2016)
- Chem. Mat., 27, 6193, (2016)
- Nature Com., 7, 10675, (2016)
- Nature Com., 7, 11402, (2016)
- Nature Com., 8, 14426, (2017)

産学連携・国際連携: 拠点形成・イノベーションハブ機能推進



まとめ

- 形状可変デバイスをもたらす、伸縮性導体・センサデバイス技術を開発。→ 変形による性能変動を最小化。
- 高精細高生産性製造技術として、版レスパターニング技術を開発。→ オンデマンドカスタマイズ生産を効率化。
- 生産性検証とプレプロダクト開発により産業化の推進に貢献。→ 産業化への橋渡し。
- 材料プロセスの原理解析、フレキシブルデバイス性能の高精度評価解析技術を開発。高IF論文掲載。→ 開発産業技術の確立を支援。
- 橋渡しのための拠点事業を推進

成果のまとめ

【「橋渡し」研究前期における研究開発推進加速に向けた取り組み】

- ・ ミニマルファブ、JAPER、NMEMS、PETRA、TRAFAMの5つの技術組合に参画、産業界と共に研究を推進(産総研全体では22組合)。中でも、ミニマルファブ、JAPERでは産総研が中核。
- ・ 産総研シリコンフォトニクス関連研究を中核とし、産総研コンソーシアム制度を活用し、光デバイス関連企業11社と連携体制を構築し、散在する光デバイス技術を集約し日本の国際競争力を維持する持続発展可能なエコシステムの構築に向けた取り組みを推進。
- ・ 高電力効率大規模データ処理ハードウェアに関して、産学官の関係機関が社会・産業ニーズの変化と技術動向を踏まえたロードマップを議論し共有する場を提供することを通じて、エネルギーに制約されずにデータを利活用できる社会の実現を先導することを目的とした、新規産総研コンソーシアム(IMPULSE)の平成29年4月1日設置に向けた準備を完了。

【公的外部資金獲得状況】

- ・ NEDO事業「IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業／IoT技術開発加速のための設計・製造基盤開発」に採択(研究代表者:エレクトロニクス・製造領域長 金丸正剛、2年総額約63億円)。
- ・ 平成28年度推進中の大型国プロ件数:13件
- ・ 平成28年度公的資金獲得額:30.8億(平成28年12月末現在)

【知的財産創出の質的量的状況】

- ・ 目標値:180件(昨年度167件/年に対し13件増)
- ・ 実績値:150件(平成28年12月末現在)
- ・ 見込み:162件(平成28年度末)

【戦略的な知的財産マネジメントの取組状況】

- ・ コア技術普及に向けた技術動向調査をし、出願前の先行技術調査を4件、審査請求前の先行技術調査を5件遂行。

【国際連携や国際標準化に向けた取り組み状況】

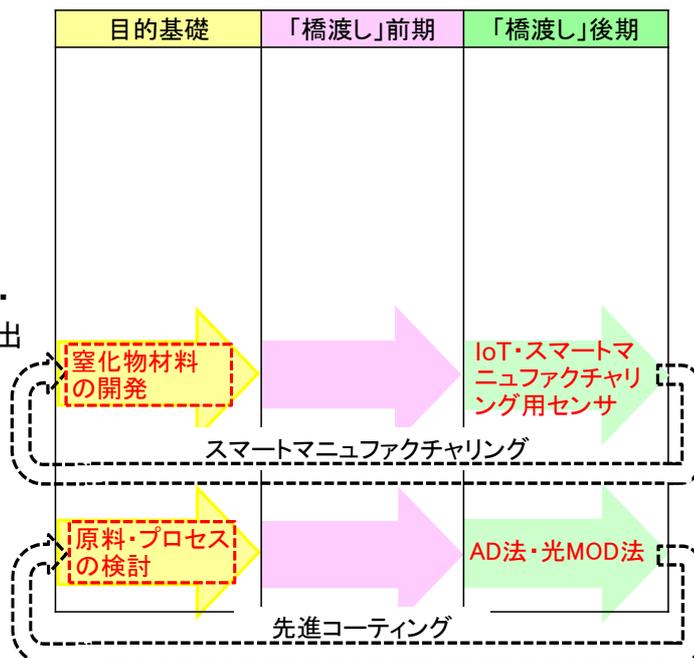
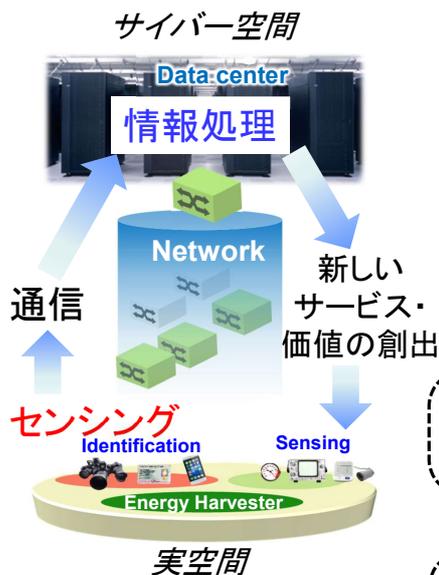
- ・ 海外の大学/研究機関と14件の国際共同研究を実施。
- ・ 経済産業省基準認証ユニット「スマートマニュファクチャリングプラットフォームプロファイルのリファレンスモデルにかかわる国際標準化基盤普及事業」を受託。
- ・ スマートマニュファクチャリング国際標準化専門委員会にメンバーとして参加。
- ・ 国際標準化委員49人(ISO委員13人、IEC委員33人、SEMI委員3人)

2. 「橋渡し」のための研究開発

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

「橋渡し」研究後期における今年度の主な成果



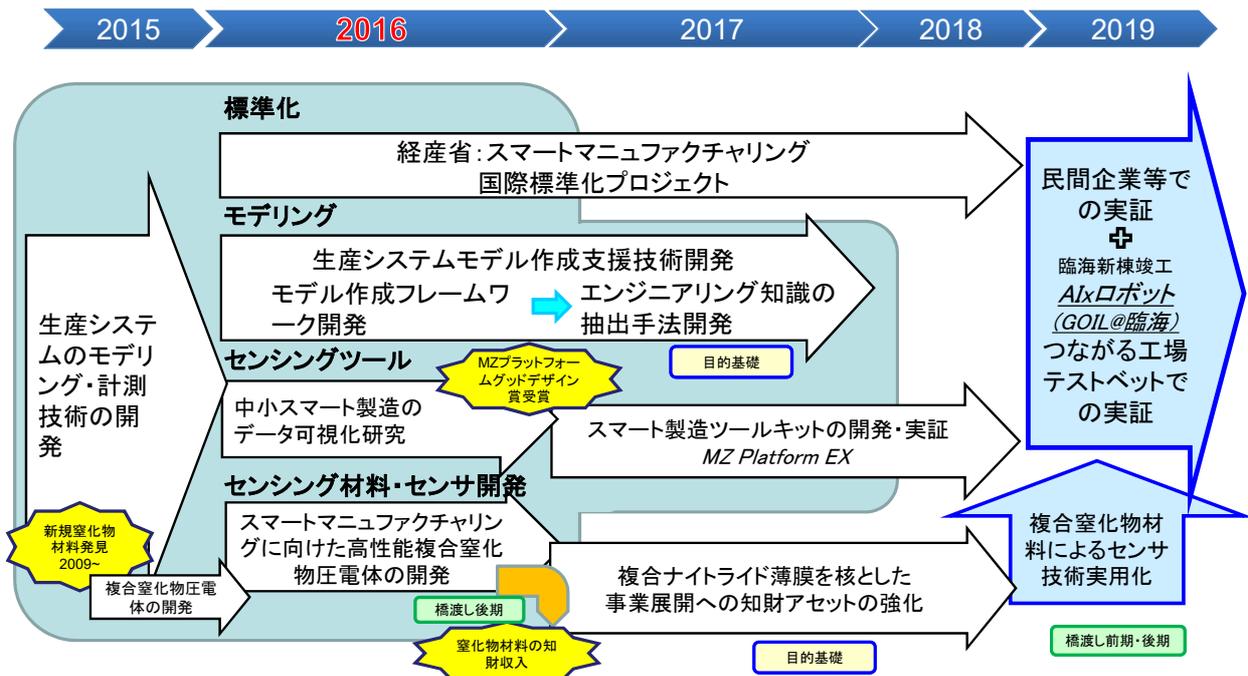
(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

①「スマートマニュファクチャリング」

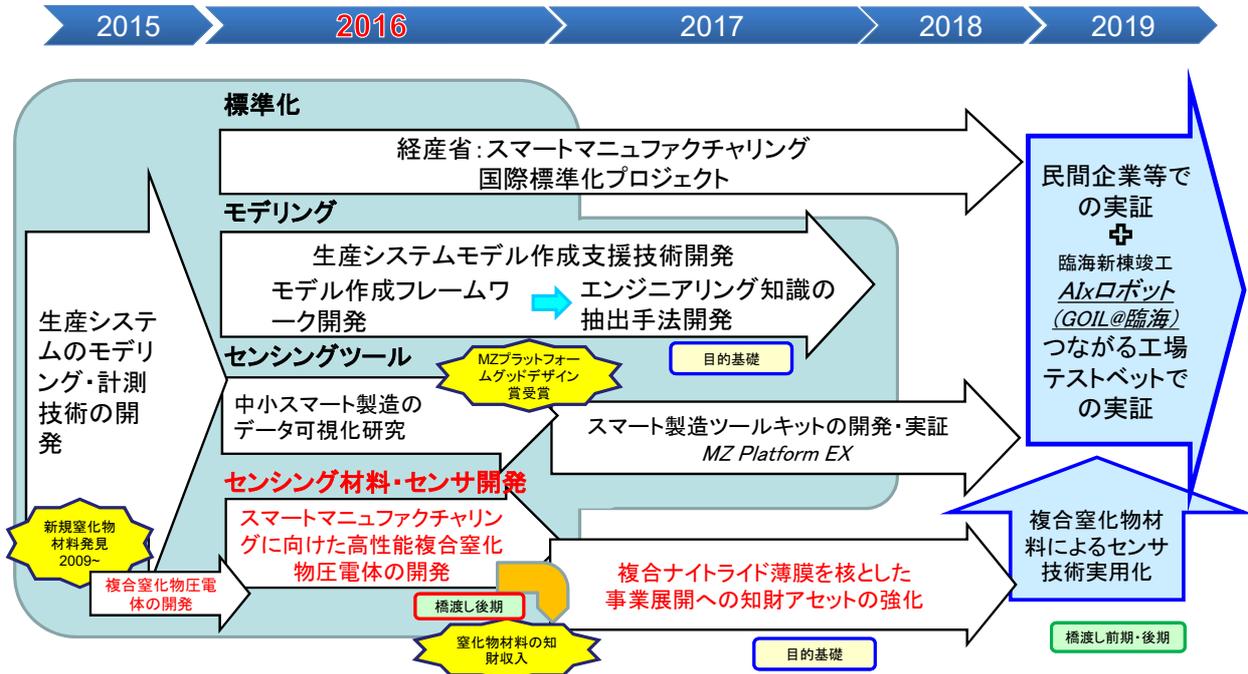
製造技術研究部門
部門長
市川 直樹

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

スマートマニュファクチャリング ロードマップ



スマートマニュファクチャリング ロードマップ



窒化アルミの薄膜化

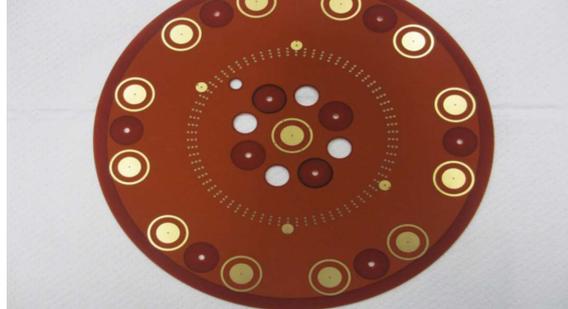
当初考えていた応用先

1. 自動車用燃焼圧センサ
2. 異常プラズマ検知用振動センサ
3. 加工装置用振動センサ など

1. 自動車用燃焼圧センサ

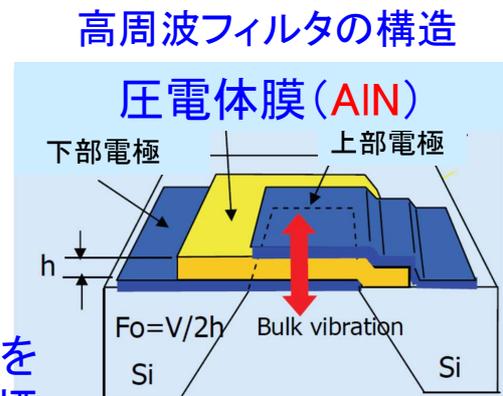
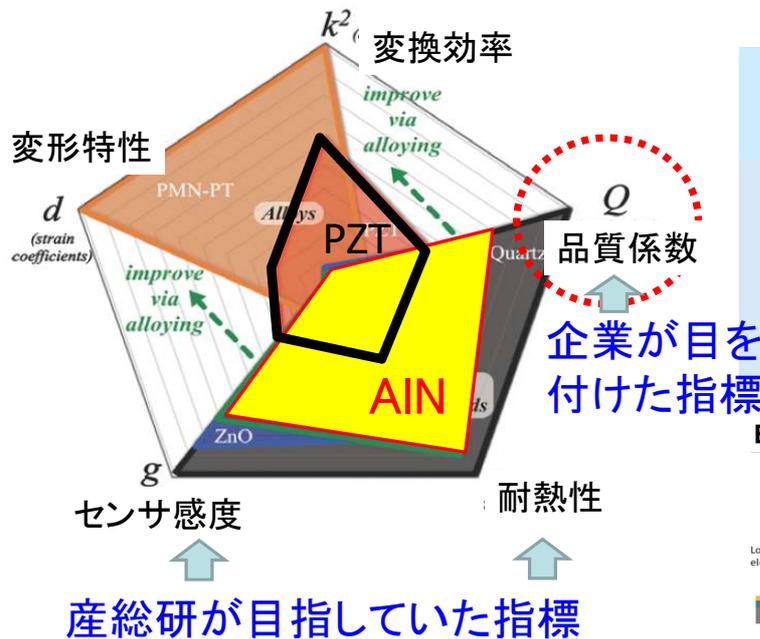


2. 異常プラズマ検知用振動センサ



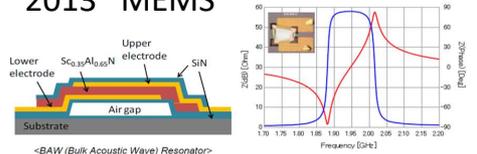
3. 加工装置用振動センサ

窒化アルミの特性と高周波フィルタの構造



EXPERIMENTAL RESULTS muRata

2013 MEMS



特筆すべき成果

「複合ナイトライド薄膜の開発」による知財収入:1億円

- 窒化アルミニウム (AlN) 薄膜は、スマートフォンやタブレット用の次世代高周波フィルタの圧電材料として期待されているが、圧電性能が低いことが課題であった。
- スカンジウム (Sc) の添加によって飛躍的に圧電性能が向上することを発見 (特許第5190841号)。
- 米国企業へのライセンス料が180万ドル (約2億円) となり、国内企業と折半で産総研は約1億円の知財収入を獲得。
- 代表的な論文の引用数: 115
Advanced Materials 21, 5 (2009) IF=17.49.

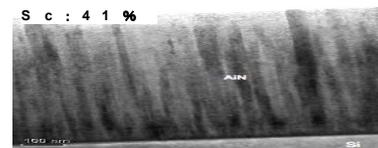


図1 ScAlN薄膜の断面図

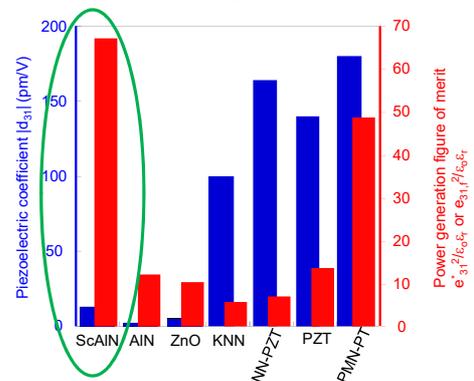


図2 圧電体の圧電定数d31と発電性能指数e31^2/d31^2の比較

圧電体の研究状況

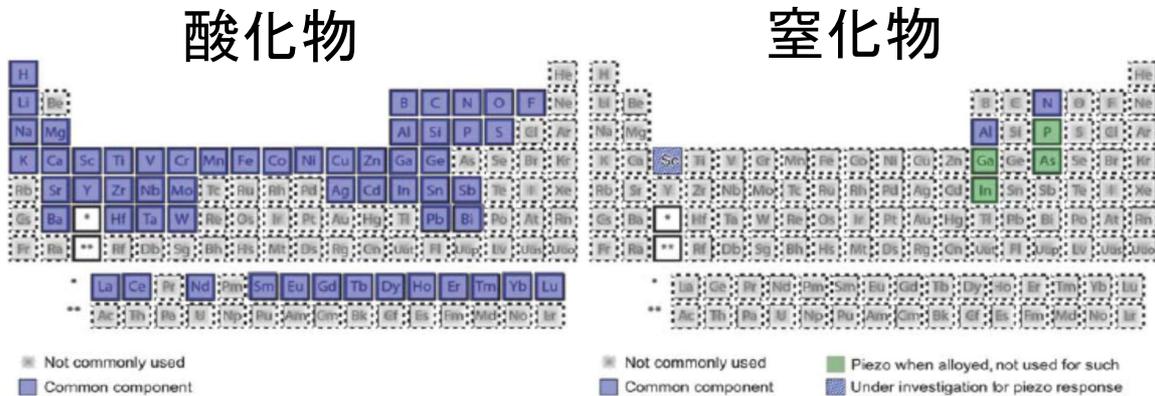
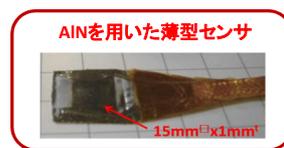


Fig. 4: Graphical representations of the relative maturities of the field of oxide piezoelectrics (left) and nitride piezoelectrics (right) based upon the elements commonly used for commercial piezoelectrics in each of the two materials families.

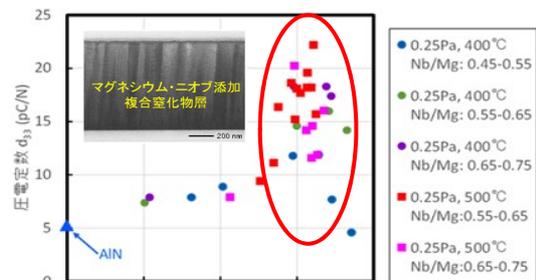
IoT・スマートマニュファクチャリング用センサの開発

窒化アルミニウム (AlN) 薄膜

- 高Q値→高周波フィルタ用材料
- スカンジウム添加により圧電性能が飛躍的に向上 (1億円の知財収入)
- スカンジウムはレアアースのため、製造コストが高いことが課題



スマートマニュファクチャリング用センサの開発



作製した材料 $Mg_xNb_yAl_{1-x-y}N$ における Mg と Nb の添加量の合計、X+Y
マグネシウムとニオブの合計添加量と薄膜の圧電性能

今年度成果

- マグネシウムとニオブを同時添加した新規圧電材料を開発
- レアアース未添加でスカンジウム添加時と同等の世界最高水準の圧電性能を実証

- 高周波フィルタの製造コスト削減
- IoT・スマートマニュファクチャリング用デバイスへの応用

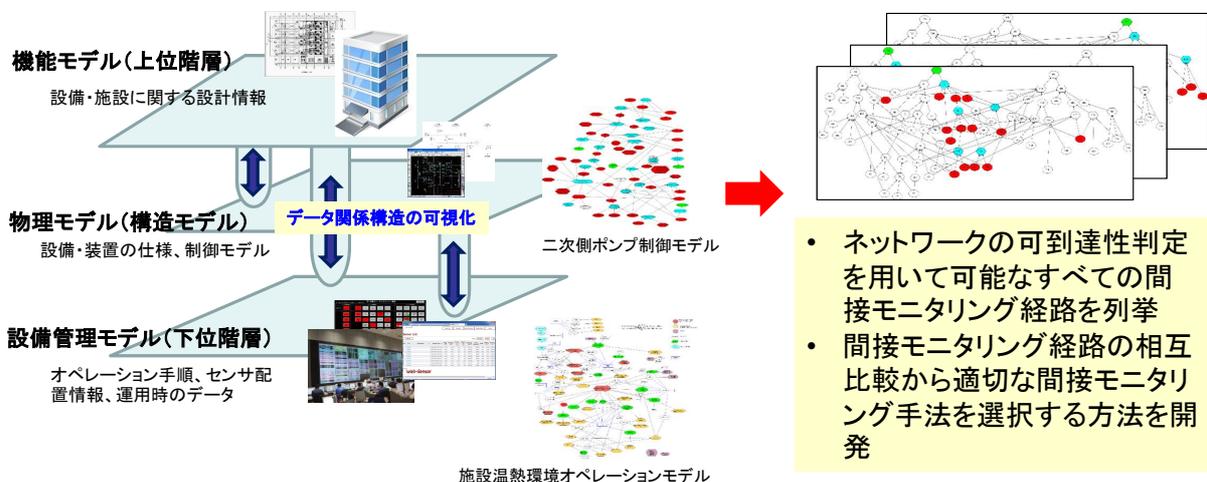
スマートマニュファクチャリングにおけるモデル化研究

- Cyber Physical System (CPS)の活用が重要
 - 実世界の情報をサイバー空間に取り込んで、サイバー空間内で様々な計算を行い、その結果を実世界へと反映するシステム
 - そのためには、①センサによる計測、②実世界を再現したサイバー空間でのモデル、③実世界とサイバー空間で情報をやり取りするシステムの開発が必要



生産システムのモデル化技術開発 (データ関係構造の可視化)

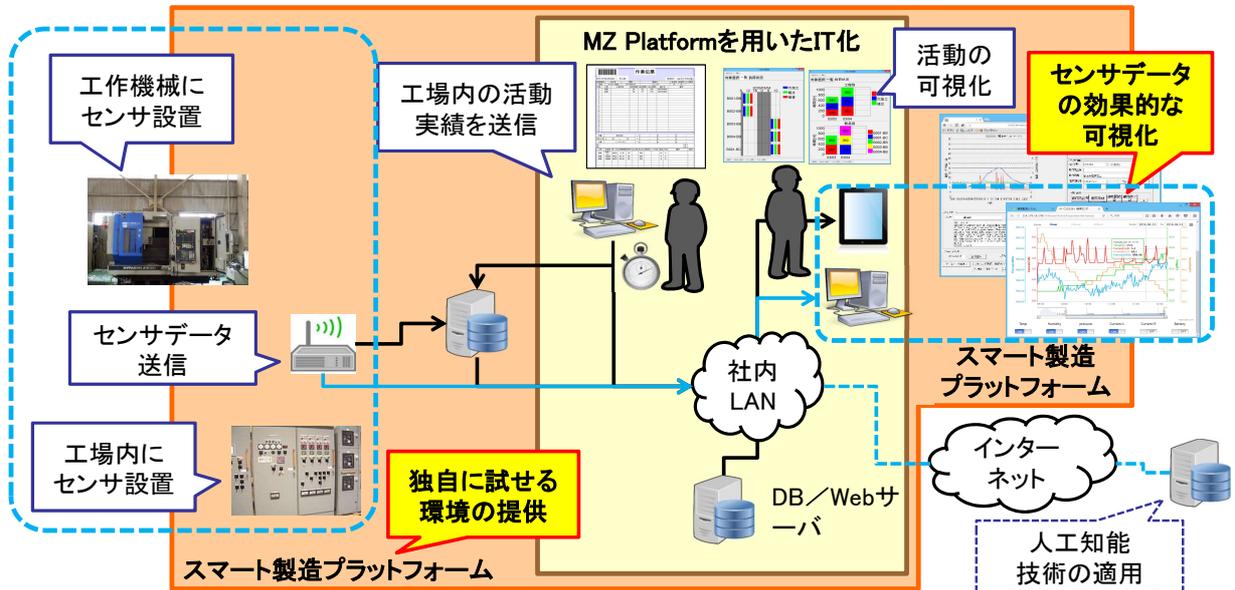
CPS構築のためのモデル作成プロセスを支援
シミュレーションのためのモデル化粒度をコントロール



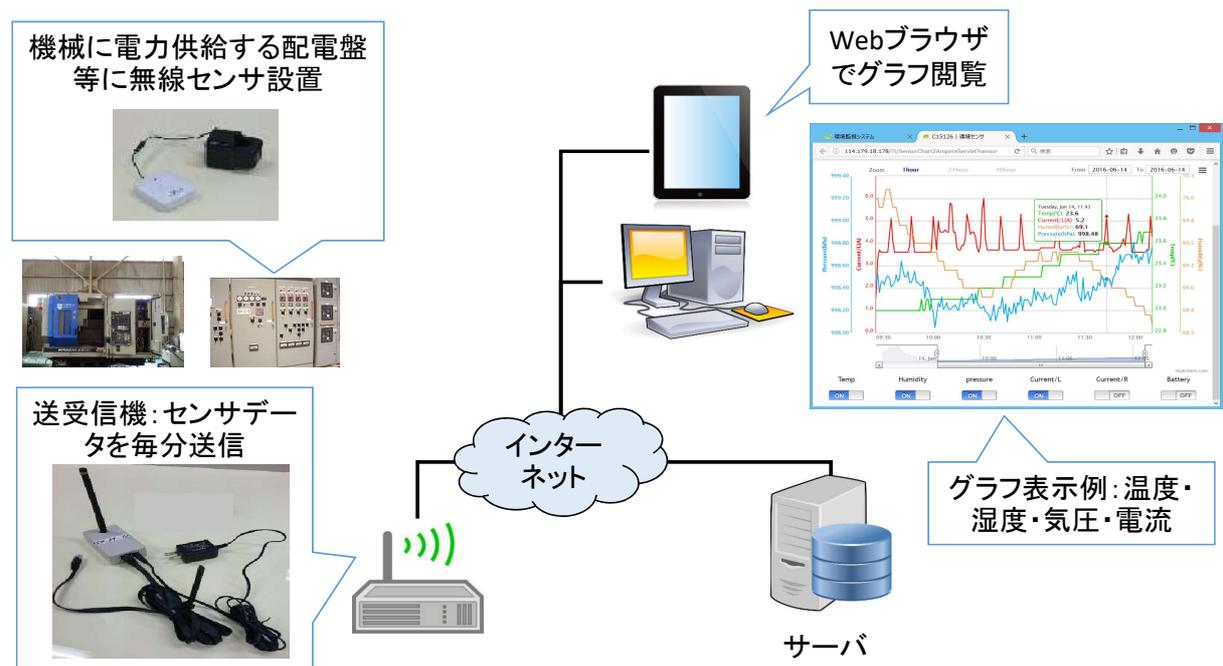
CPS情報共有システムの基盤開発

実世界とサイバー空間で情報をやり取りするシステムの開発:

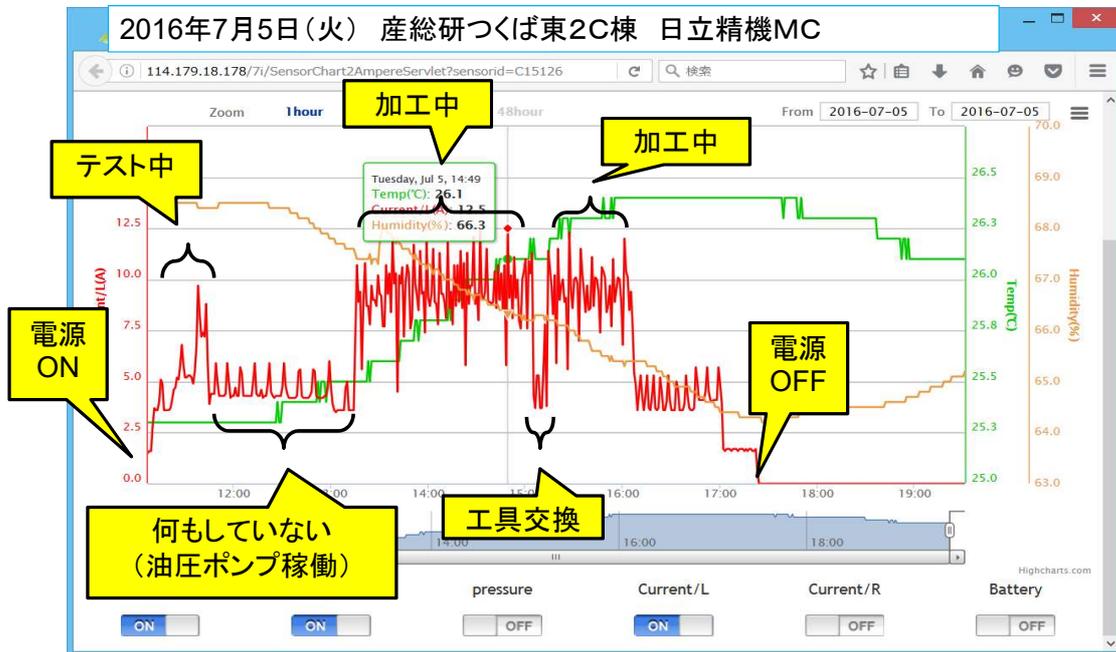
取得データの可視化、生産指示内容の提供を行うシステムをユーザ自ら開発する環境を提供



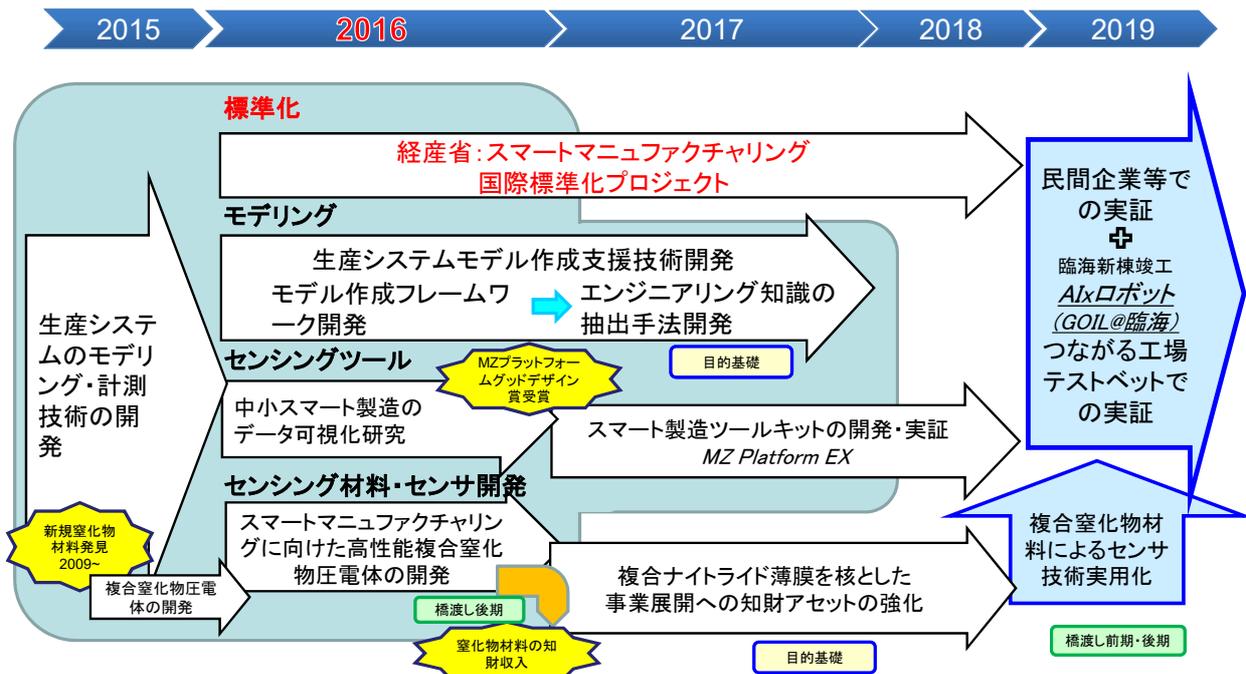
無線センサによる機械稼働状況モニタリング



機械稼働状況閲覧例

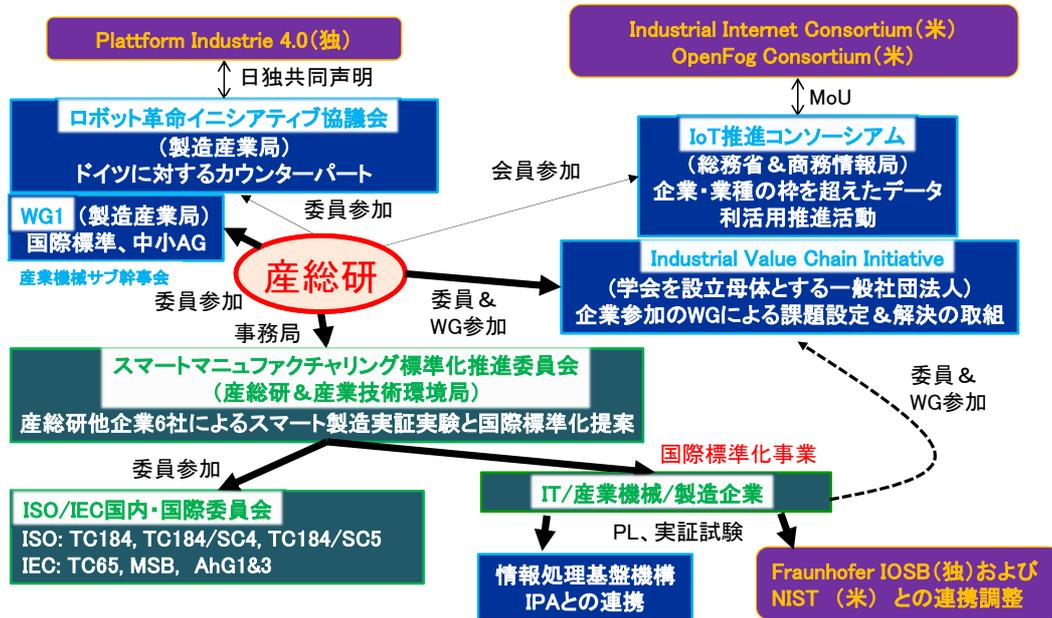


スマートマニュファクチャリング ロードマップ



スマートマニュファクチャリング

▶ IoTものづくり関連技術動向への対応と国際標準化を先導



標準化等対外的活動の状況

国際標準化活動

- ・Smart Manufacturing Platform and profile reference model standardization, NEAS forum, 2016年7月11日、松江
- ・Platform with profile for smart manufacturing and its reference model, S. Kano et al, ISO/TC184/SC5 Plenary, 2016.05. 19-20、東京
- ・IoT 2020: Smart and secure IoT platform: IEC MSB white paper、加納誠介 他(分担執筆)、2016年10月

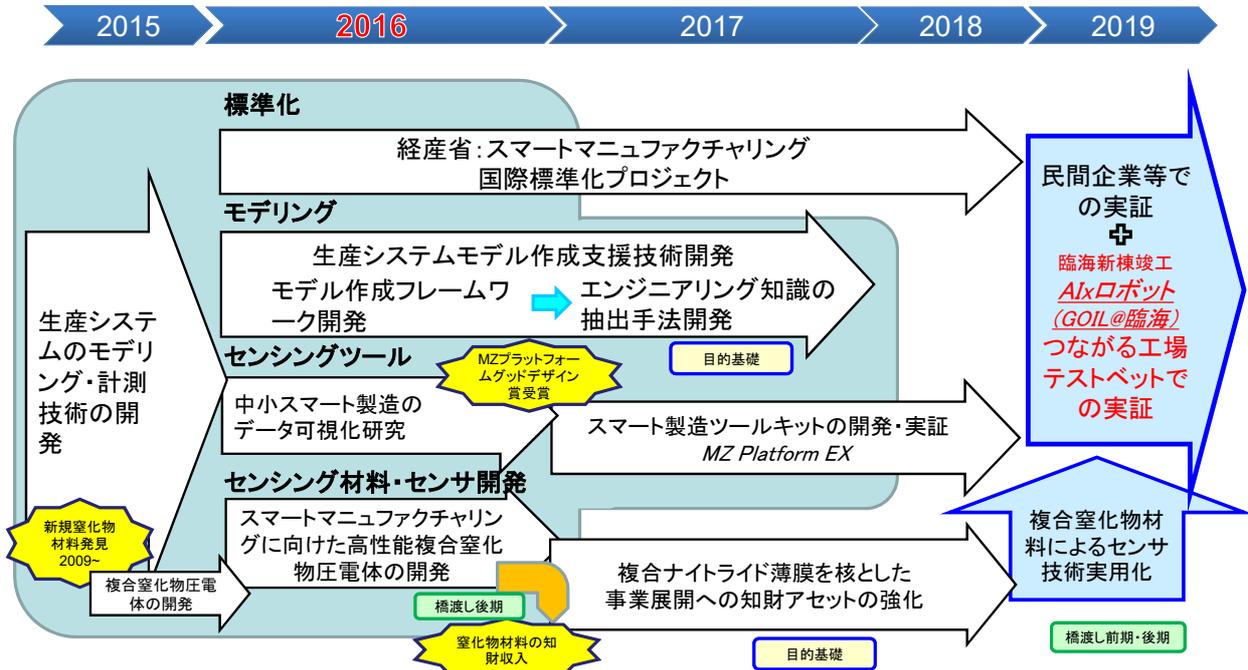
工業技術センター、県庁、海外企業や研究所などでの講演・意見交換の一覧

- 産総研地域センター、各公設試、県庁での講演会
- ・大分県工業技術センター 2016年8月5日
- ・四国工業技術センター 2016年8月23日
- ・MEMS IoTセミナー 2016年9月15日 パシフィック横浜
- ・CEATEC IoT講演会 2016年10月7日 幕張メッセ
- ・AIST テクノブリッジフェア 2016年10月21日 つくば
- ・山梨県工業技術センター 2016年11月17日
- ・オプトメカトロニクス協会 技術講演会 2016年12月22日 東京
- ・大分県庁 大分4.0 2017年1月25日
- ・産総研出前シンポジウム in 熊本 2017年2月21日
- ・広島県庁 IoT推進フォーラム 2017年2月22日

海外企業・研究所

- ・ドイツ訪問 2016年9月5日—9日
- 訪問先は、KUKA、SIEMENS、RHWN Achen、Fraunhofer IOSB、IPA & AISEC
- IOSBとはデータ流通の双方向検証について共同研究棟を検討中
- ・アメリカ訪問 2016年12月5日—9日
- IMSでの情報収集とNISTおよびNEDOワシントン事務所訪問: NISTとは連携を検討中

スマートマニュファクチャリング ロードマップ



つながる工場テストベッド (臨海副都心センター)

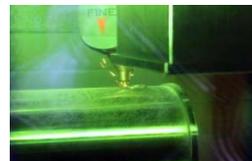
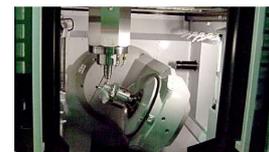
研究内容

人中心のものづくり現場から、「作業は機械が中心」、「人はすり合わせや調整、連携判断中心」になるものづくり現場を目指す。

人の作業のモニタリングや、判断の根拠を定量化、定量化し、明確化する。

機械学習

知識と経験の蓄積から、選択肢を優先順位付きで提示
製造物と情報を流す



その判断に基づき、機械が学習を重ね、ものづくりの条件内で判断ができる状況を作っていく。多角的モニタリングデータにより、設計内容と作業の連動が、モデル加工の範囲内で可能な工場をめざす。

データは、マシニングセンター、放電加工機、プレス機、レーザ複合加工機から取得する。加工物を流すだけでなく、CAD/CAM/CAEを活用し、設計データや加工データを共有し、「賢いモノづくり」を探る。

つながる工場ですぐ得られたデータは、つくばで詳細解析を行う。

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

②「先進コーティング技術」

先進コーティング技術研究センター
センター長
明渡 純

5- (4) 多様な産業用部材に適用可能な表面 機能付与技術の開発

内容:

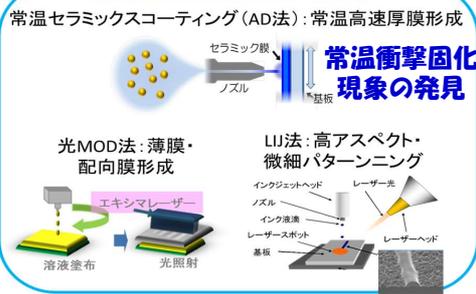
- ・課題の概要(背景、目的)
- ・ロードマップ
- ・主な成果及び進捗
- ・国内外の研究機関に対するベンチマーク
- ・産学連携、国際連携の状況



課題の概要(背景、目的)

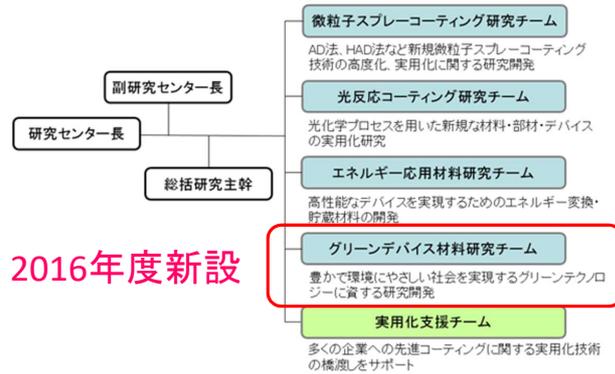
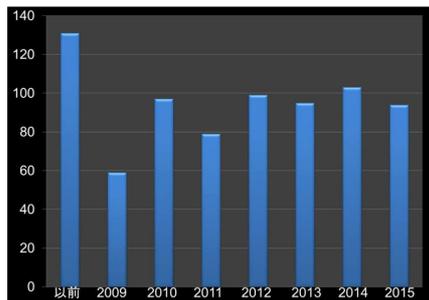
第4期ユニット・ミッション

産総研の独自のコア技術

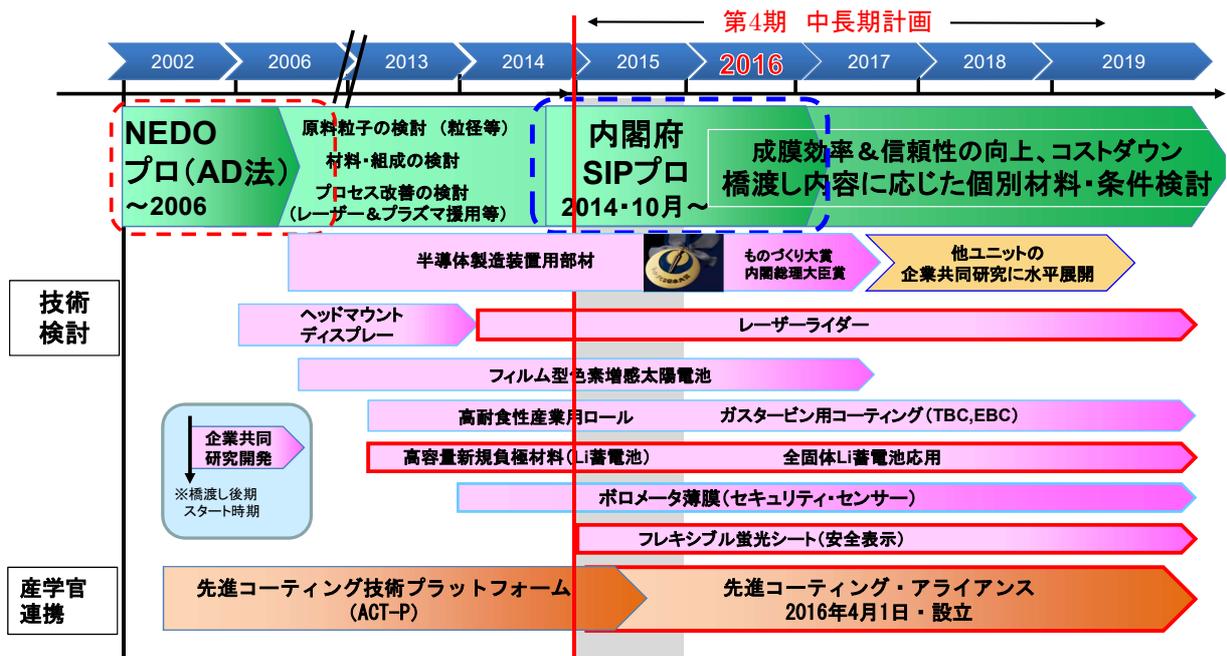


AD(エアロゾルデポジション)法や、光MOD(金属有機化合物分解)法、LIJ(レーザー援用インクジェット)法などの産総研が世界を先導する先進コーティング技術を核に、産総研の基礎研究ポテンシャルを活かし成膜メカニズム解明に基づくプロセスの高度化と、それを基にした多事業分野での民間企業への橋渡しを実現する。

AD法、光MOD法、LIJ法の技術相談件数推移



AD法&光MOD法 ロードマップ

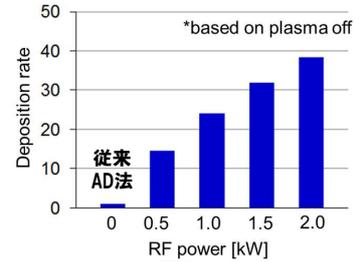
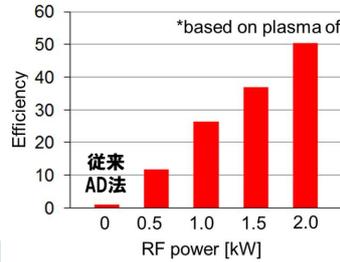
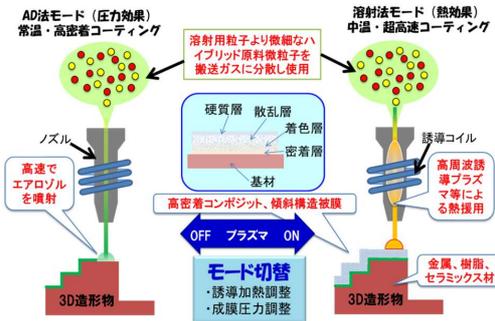


主な成果及び進捗

橋渡し前期

①ハイブリッドAD法

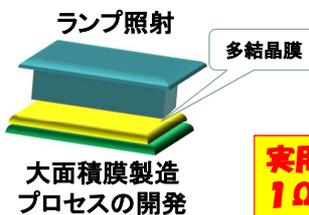
成膜効率で50倍、成膜速度で38倍を達成!



②光MOD法

熱プロセスの課題: SiNと抗体反応

大面積・コスト削減に向けた照射システム開発
⇒ランプ照射・多波長照射プロセスの開発



実用サイズのSiN基板で
1Ω抵抗体膜の作製に成功!

SiCパワエレモジュール用抵抗体膜・配線の開発



汎用レーザーでコスト削減!
ハイブリッドも可能! 多品種へ

主な成果及び進捗(理事長戦略予算①)

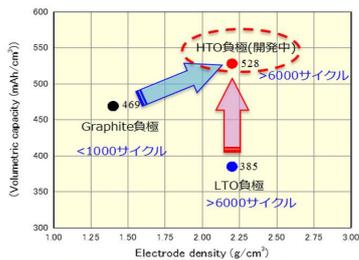
橋渡し後期

③高容量新規負極材料

(企業資金提供型共同研究:1150万円/1年)

石原産業(株) 他数社

情報開示契約+資金提供型共同研究



■負極の高容量化・長寿命化が可能

高容量チタン酸化物HTO負極
産総研独自の高性能材料技術

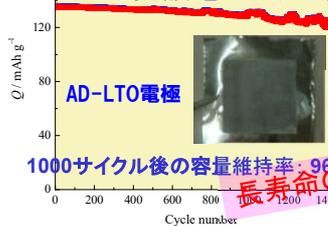
今年度の成果

- ・粒径制御技術の確立による高容量(255 mAh/g)かつ長寿命化が可能(現行LTOより40%容量アップ)
- ・実用化に向けて素材企業へ橋渡し中

平成27年度文部科学大臣表彰 開発部門 受賞
第52回日本電子材料技術協会秋季大会 優秀賞
資金提供型共同研究:のべ4社(総額:1150万円)

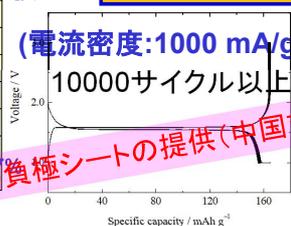
密度向上による
体積容量密度の
向上と工場設備
のコンパクト化を
期待

10C充放電サイクル試験



1000サイクル後の容量維持率: 96.7%

AD法による電極シート製品化検討中



	Anode	Gravimetric capacity (mAh/g)	Electrode density (g/cm³)	Volumetric capacity (mAh/cm³)
Graphite		335	1.4	469
LTO-AD		155	2.86	443

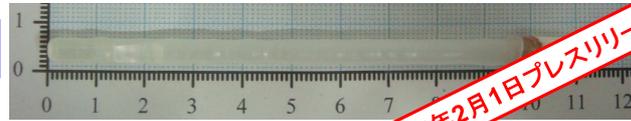
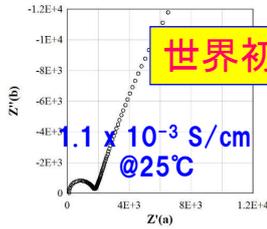
④ 全固体リチウム二次電池 主な成果及び進捗 (理事長戦略予算②)

橋渡し後期

(企業資金提供型共同研究: 1000万円/1年)

世界最高性能のガーネット型単結晶固体電解質

産総研独自の高性能材料技術

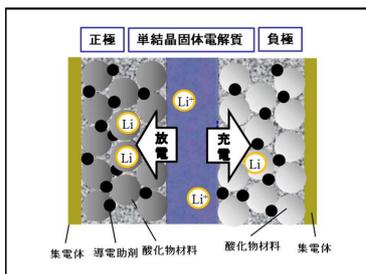


■ 高い安全性と信頼性を実現

今年度の成果

- ・液系電解液並みの導電率をもつ酸化物系固体電解質を開発
- ・単結晶を固体電解質とすることで短絡しない固体電池が可能
- ・AD常温製膜技術により強固な電極-電解質界面を形成

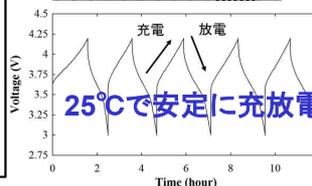
【今回の全固体電池の構成】



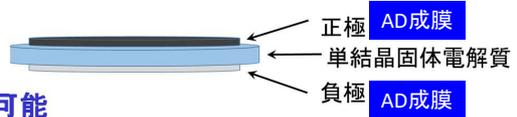
試作したボタン電池



医療用途やIoTデバイス等での小型電源として期待
関連企業への橋渡し研究へ展開開始



AD法による全固体電池



AD法による全固体電池 製品化検討中

主な成果及び進捗

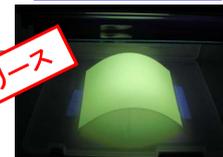
橋渡し後期

① 光MOD法による蛍光体膜の開発

1. 高輝度・長残光膜の開発(企業A)

課題: 蛍光灯からLED照明へ: 紫外光を含まないため発光輝度・時間減少が課題
新規材料の開発 → 2倍長時間発光に成功! 特許出願2件。⇒ 企業: プレスリリース

28. 7: グリーンデバイス材料チーム



LED対応蓄光フィルム

企業B 光MOD法による白色蛍光体膜の開発 ⇒ 紫外線励起安全標準で2倍高輝度に!
H28年度: 企業内での大面積膜製造に着手 ⇒ 材料、プロセス構築の指導、支援

28年度: 資金提供型共同研究: 5件(うち中小2件)合計: 2400万



高輝度表示板の開発

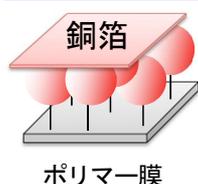
② 光化学修飾法によるフレキシブル電子部品の開発 (資金提供型共同研究: 1800万/3年)

・ポリマー膜-銅箔分子接合技術

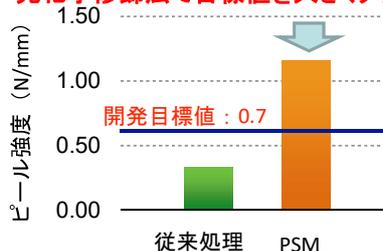
紫外光照射
分子接合剤反応

特徴
高接合強度
銅箔粗化不要

異種材料接合

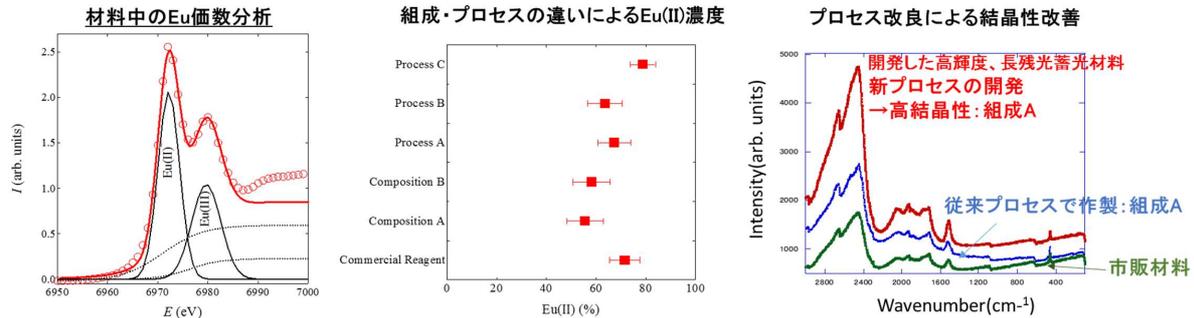


光化学修飾法で目標値を大きくクリア!



市場規模
7000億円(国内)
5.5兆円(アジア)

高輝度蓄光蛍光体材料開発指針



放射光XANES解析により、蛍光スペクトルにはほとんど表れないがかなり多くのEu(III)が存在することが明らかになった
→ 合成プロセス・組成の改善

Eu(II)量が蛍光強度に大きく影響

→ 合成プロセス条件の最適化によるEuの価数制御が極めて重要であることが判明

→ Eu価数分析を踏まえた新たな材料・プロセスデザインにより市販品の特性を飛躍的に上回る新たな蓄光材料の合成に成功！！

船井電機㈱との共同プレス発表: 2016/12/21

橋渡し後期

メタル型光スキャナを用いた測距センサを開発:
優れた耐久性と大面積検知を実現

—大面積ディスプレイ、デジタルサイネージ用タッチパネルや人感検知センサに適用可能—



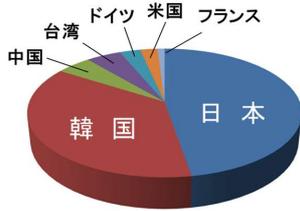
自動運転用レーザーライダーの小型化



- ・測距方式: TOF (Time of Flight)
- ・光源: 赤外線レーザー(クラス1)
- ・測距範囲: 0~2m(最大)
- ・検知角(画角): 90°
- ・測距精度: ±6mmを達成可能
- ・応答時間: 50 msを達成可能
- ・電源: 5V(USB給電)
- ・サイズ: 146(W)x114(D)x61(H)mm

2016年12月21日プレスリリース
フルラス・岡崎記念会 第10回 岡崎清賞受賞

国内外の研究機関に対するベンチマーク



世界でのAD法論文発表数

AD法の基本特許(方法、構造、装置)は、産総研が保有、世界初の事業化(TOTO)にも成功しかし...



セラミックスコーティング市場の最終製品へのレバレッジ効果は10倍以上

KETI, Korea Electronics Te...



今こそ、戦略的変化の時：
英国表面工学および先進コーティング産業
TIME FOR STRATEGIC CHANGE:
UK SURFACE ENGINEERING AND DVANCED COATINGS INDUSTRY
SEAC研究部会によるレポート



「表面工学先進コーティングについてのリーダーシップ・フォーラムの設立」

- ①英国のための組織モデル/アクティビティモデルを立ち上げ、計測学や複合材料のイニシアチブと同じ様に、エンドユーザー、学界、製造業者のコミュニティからもたらされたSEAC技術の応用範囲の拡大を後押しする。
- ②分断された戦術的コミュニティから戦略的で積極的な集団へと移行するための自立戦略を策定する。

韓国・中国では、AD法の事をVacuum Cold Sprayと呼ばれることも有る

(真空度、特殊環境)

産学連携、国際連携の状況

国際連携 (CSIRO・オーストラリア) フレキシブル有機EL用応用 ⇒VO2膜で高効率化に成功!



【連携先】：NIMS、大阪大、東工大、豊橋技科大、ヘルムシュット大、ハイロイト大、リモージュ大学、アルコン国立研究所、U. S. Naval研究所他

・日本セラミックス協会・フェロー受賞
・WAC (World Academy of Ceramics) Diploma 受賞

地方公設試との連携 (企業+産総研+四国産業技術センター) サポイン事業 (積水化学・共同研究)

地方公設試との連携 (栃木県産業技術センター) 関東産学官連携室と連携し、栃木県モデルを構築。他2県と推進中

A-STEP:色素増感型太陽電池 (積水化学・共同研究)

溶射分野における国際的連携

Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 25, Issue 8, pp 1376-1440(Armelle Vardelle, Christian Moreau, Jun Akedo, et. al.)にAD法も含めた国際ロードマップ (The 2016 Thermal Spray Roadmap)を発表

内閣府SIP「革新生産設計技術」コーティング拠点の設立

①大手歯科部材加工機メーカー
高速リング加工 (企業独自技術) オンデマンドな義歯の提供
ZrO2・高速3Dコーティング

②地方の中堅企業
国内最大の材料供給メーカー
吸湿率、密着力は製品レベルを確認
アロフェンのバインダーレス高効率成膜

③地方の中小企業
高熱伝導率のCu/C複合材料 (企業独自技術・840W/m²K)
ALN等の高効率成膜

セラミック・コーティング市場とサプライチェーンの課題

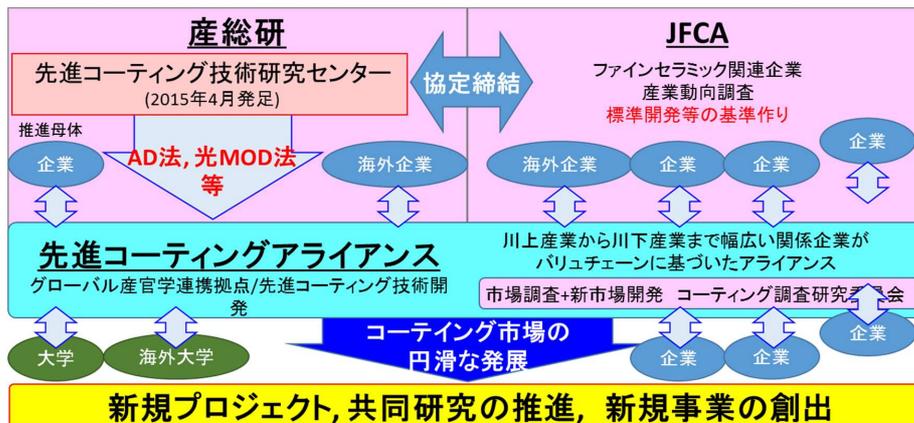


先進コーティングアライアンス
Advanced Coating Alliance



現在40社入会

- ▶ 国際競争力のある日本独自のコーティング技術(AD法, 光MOD法)の実用化支援
- ▶ バリューチェーンを統合的に見渡した国際的・戦略的なアライアンスの創出
- ▶ 先進コーティングに関するグローバル産学官連携拠点の形成と国際競争力強化



AD法は装置技術というより粉体技術である！

AD用の粉体製造メーカーの確立と部材応用メーカー、製品セットメーカー間のビジネスアライアンスを検討中

入会のメリット

- ★ネットワークの構築 ★最新技術動向へのアクセス ★セミナー, ワークショップ, 見学会等への各種優待
 - ★国際会議の参加, 海外情報の入手 ★政府機関, 国立研究所等との連携 ★会員企業との広報 など
- 担当:古賀、岡本 所属:一般社団法人 日本フィンセラミックス協会 連絡先:koga@jfca-net.or.jp または act-webmaster-ml@aist.go.jp

成果のまとめ

【研究開発推進加速に向けた取り組み】

- ・ 先進コーティング技術について、一般社団法人日本ファインセラミックス協会と連携し、先進コーティング技術アライアンスを設立。本アライアンスでは、川上企業から川下企業までの多種多様な企業42社が参画し、マーケット調査に基づく出口戦略を策定し共有する活動を実施。また、内閣府SIPプロジェクトを通して、研究成果を第三者に幅広く展開するコーティング拠点を設立。

【「橋渡し」研究後期における研究開発推進に伴い得られた成果】

- ・ 複合ナイドライド薄膜の開発において、米国企業への特許ライセンスで約1億円の知財収入を獲得。
- ・ 製造技術研究部門において、2016年度グッドデザイン賞を受賞。
「エンドユーザ向けソフトウェア開発環境 [MZ Platform]」
- ・ 製造技術研究部門において、平成28年度塑性加工学会 技術開発賞を共同研究先と共同受賞。
「ナノ精度デジタルクリアランス調整による金属箔打抜き技術の開発」

【民間からの資金獲得額の目標値と実績値】

- ・ 目標値: 12.7億円
- ・ 実績値: 8.1億円(平成28年12月末現在)(昨年度実績値: 6.5億円)
- ・ 見込み: 9.1億円(平成28年度末)(昨年度比140%)

【中堅・中小企業の資金提供を伴う研究契約件数の大企業に対する比率】

- ・ 実績値: 39.3% (平成28年12月末現在)、中小企業48件、大企業122件
- ・ 昨年度: 42.7% (平成28年 3月実績)、中小企業50件、大企業117件

【産総研ベンチャー】

- ・ 平成28年度にベンチャー2件設立(株式会社計算熱力学研究所、株式会社SteraVision)。
- ・ 産総研ベンチャータスクフォース事業にて、1社設立準備中。

3. 前年度評価コメントへの対応

対応状況

①【コメント(マーケティング力の強化)】

- ・ マーケティングの最も重要な使命は、目標あるいはテーマの設定にある。研究開発を始める段階で役に立つ真のマーケティング力を育成してほしい。また、外部関係者との情報交換・議論をすることを勧める。

【対応状況】

- ・ 社会動向、ビジネス動向、技術動向、等に基づいて将来技術のあるべき姿を見極めるため、個別企業訪問、展示会出展への来訪、テクノブリッジフェア、等をきっかけに各企業に対して数～数10回の技術打合せや技術交流会を開催し、共同でロードマップを策定、共同研究を実施。

②【コメント(ナノエレクトロニクス研究部門)】

- ・ ミニマルファブは、大量生産性でなく超小型生産システムの創造に向けて推進し、デバイス実証することが重要。

【対応状況】

- ・ 装置・プロセスの開発を主に担当するミニマルシステムグループに加え、特徴ある高付加価値デバイスの作製するカスタムデバイスグループを置き、有効性を実証。民間企業3社がミニマルファブファンダリビジネスを開始、一般社団法人ミニマルファブ推進機構を設立。

③【コメント(先進コーティング技術研究センター)】

- ・ 市場調査を行いさらなる強みを深めるための、研究の要否に関する検証とアプリケーションを広範囲に開拓して頂き、企業連携を進めるための戦略を考えて頂きたい。

【対応状況】

- ・ 競争力のある製品開発を実現するために、一般社団法人日本ファインセラミックス協会と連携した先進コーティング技術アライアンスを設立(参画企業42社)し、マーケット調査に基づく出口戦略の策定活動を実施。また、内閣府SIPプロジェクトを通して、第三者に幅広く展開するコーティング拠点を設立。

平成28年度

- ・ 目標と主な実績
- ・ 特筆すべき成果

1. 平成28年度の目標と主な実績

目標	実績
①情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発	
相変化メモリについては、集積性に優れたクロスポイント構造の最適化と成膜技術を改良し、相変化材料を用いたトポロジカルデバイスの設計と動作検証を行う。	相変化メモリについて、超格子型材料を用いて1V以下の低電圧スイッチングおよびトポロジカル相転移を示唆するバイポーラ動作を実現した。
量子アニーリングチップにおいて大規模アーキテクチャ設計のための超伝導回路シミュレータを開発し、数ビット程度の小規模回路設計を行う。	量子アニーリングチップの大規模集積に適した新規アーキテクチャを提案した。超伝導量子回路用シミュレーションモデルを構築し、3量子ビット論理ゲート回路設計により有効性を実証した。
スピントロニクス技術を用いた高周波発振素子の基盤技術開発も行い、発振出力1 μ W以上かつQ値2000以上を実現するとともに、外部回路による周波数高安定化に取り組む。	スピントロニクス発振素子で、高いQ値2000を維持して単一素子で10 μ Wの発振出力を実現した(従来の世界最高値よりも3倍大きな発振出力)。
ダイナミック光バスネットワークの実運用を開始する。シリコンフォトニクススイッチは、ダイナミック光バスネットワークでの実使用試験を行う。	臨海副都心センターと東大等と結んだダイナミック光バスネットワークの都内テストベッドを構築し、実運用を開始した。シリコンフォトニクススイッチを標準ブレード型装置として実装し、ダイナミック光バスネットワークでの実使用試験を行った。
②ものインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発	
各種モデルにおける共通データ・流通データについて分析を進め、機能モデル、構造モデル、生産管理モデルといった各種モデル間の関係を構造化する。また、生産計測技術においては、間接モニタリングの技術拡充を行うと共に、工場において事例検討を実施する。	各階層のモデルで扱うデータの分類とそれらの関係性を整理し、工場の管理者等が知りたい指標を生産現場のデータから類推するための評価プロセスを考案した。また、生産計測技術においては、間接モニタリングを生産ラインに導入する検討を企業担当者で行った。
圧電MEMS技術による自立発振検出デバイスおよび極薄MEMS微細加工フレキシブル基板集積化技術を用いたひずみセンサアレイシートデバイスを試作し、社会インフラIoTシステムのプロトタイプを開発する。	NEDO事業「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」において、1 \times 10 $^\circ$ の高感度極薄PZT/Siをポリエチレンナフタレートシートに25個集積化したひずみセンサアレイシートと太陽光発電駆動通信モジュールからなる無線センサ端末複数台を受信機と組み合わせたセンサネットワークシステムのプロトタイプを完成した。また、当該フレキシブルひずみセンサアレイシートを用いて、橋梁での亀裂検出の実証実験に成功した。
③ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発	
高効率カスタマイズ製造技術、印刷パターン低温高速焼結技術などの開発に取り組み、高生産性のための1分以内の高速焼成、50ppmの精度の高信頼性印刷アライメントなどの実現を目指す。	表面コートのみで高精細パターンニングを可能とする印刷製造技術及び光直描、光プラズマ混合焼成技術等の開発により、フィルム基板上にサブミクロン台の高精細配線回路の高速形成に成功した。高精度フレキシブルアライメント技術の開発により、高精度(7ppm)でパターンニングする技術の開発に成功した。
ミニマルファブ技術について、各装置の性能高度化、装置群のシステムとしての統合を進める。また、トランジスタ系やMEMSプロセスの標準レシピの整備を進める。	ミニマルファブ技術について、実装用装置群とプロセスを構築し、実装したデバイスを実際に動作させることに成功した。圧力センサデバイス用等のレシピを整備した。
④多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発	
AD法では膜性能や原料利用率を評価し、実用レベルの生産性と低コスト化を目指す。光MOD法では低コスト化のための照射システムの高度化や新規分野展開を目指す。	AD法では、単結晶固体電解質の高速育成及び実用的な充放電特性をもつ全固体電池の試作に成功した。光MOD法では新規波長を用いた照射システムを開発し、従来の2倍の輝度を有する蓄光材料の開発に成功した。

2. 平成28年度 特筆すべき成果

【目的基礎】

- IF10以上の論文誌(Nature Nanotechnology, Nature Communications, Nature Materials, Nano Letters)に8報掲載。
- スピントロニクス研究センター長 湯浅新治が平成28年度 文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)を受賞「巨大トンネル磁気抵抗効果の研究」。
- ナノエレクトロニクス研究部門首席研究員 富永淳二が平成28年度 本多フロンティア賞を受賞「低消費電力型超格子相変化メモリの開発と、そのトポロジカル物性の発見」。

【橋渡し前期】

- NEDO事業「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」において、フレキシブルひずみセンサアレイシートを開発し、橋梁での亀裂検出の実証実験に成功。
- NEDO事業「IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業/IoT技術開発加速のための設計・製造基盤開発」に採択(研究代表者 金丸正剛 領域長、2年総額 約63億円)。

【橋渡し後期】

- ミニマルファブによるトランジスタ作製とともにパッケージングまでを世界で初めて展示会場で実施。
- 横河ソリューションサービス(株)が自社内にミニマルアプリケーションラボを創設し、コンサルティング・販売事業を開始。
- 複合ナイトライド薄膜の開発において、米国企業への特許ライセンスで約1億円の知財収入を獲得。
- 先進コーティング技術アライアンスを設立(42社が参画)。
- 初動3日間でアクセス数が1,000件を超えるプレス記事を4件発信(産総研全体では12件)。
- 平成28年度にベンチャー2件設立(株式会社計算熱力学研究所、株式会社SteraVision)。産総研ベンチャータスクフォース事業にて、1社設立準備中。

評価資料（主な業務実績等（年度末確定値））

議事 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間からの資金獲得額	8.1 億円	9.9 億円	
リサーチアシスタント採用数	15 名	23 名	
イノベーションスクール採用数	10 名	10 名	
大企業に対する中堅・中小企業の研究契約件数の比率	39.3%	41.3%	
技術コンサルティング	19 社(2,260 万円)	21 社(2,543 万円)	
大学や他の研究機関との共同研究数	269 件	269 件	
国内外規格・標準化活動における委員数	49 名	49 名	

議事 2. (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
論文の合計被引用数	6,327 件	6,780 件	
論文発表数	178 報	313 報	
知的財産の実施契約等件数	150 件	161 件	合計値
IF10 以上の論文誌に掲載された論文数	8 報	8 報	

議事 2. (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
知的財産の実施契約等件数	150 件	161 件	合計値
公的資金獲得額	—*	53.7 億円	
大型国プロ件数	13 件	13 件	

*委員会説明では、定義（一般管理費の扱い等）の異なる値を用いていたため、本表には示さない。

議事 2. (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

各種指標	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間からの資金獲得額	8.1 億円	9.9 億円	
知的財産の実施契約等件数	150 件	161 件	合計値
中堅・中小企業の大企業に対する比率	39.9%	41.3%	
産総研初ベンチャー設立	2 件	2 件	

【総括表：領域全体の年度実績】

(一部再掲、目的基礎、「橋渡し」前期、「橋渡し」後期の重複なし)

評価指標/モニタリング指標	年度実績(確定値)	領域としての目標値
民間からの資金獲得額	9.9億円	12.7億円
論文の合計被引用数	6,780件	6,800件
論文発表数	313報	400報
リサーチアシスタント・イノベーションスクール採用数	33名	14名
知的財産の実施契約等件数	161件	180件

評価委員コメント及び評点

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

(評価できる点)

- ・民間資金獲得額、人材育成、連携実績など、着実に向上している。研究面での進展も大きい。
- ・基礎研究から企業化までの一貫した研究体制をとっているのは素晴らしい。また、応用研究を基礎研究にフィードバックさせる体制も評価できる。
- ・企業との連携にも十分に注意が払われており、外部資金にも反映されている。
- ・新しく技術的指導助言の取り組みを行っているということで、2社から19社に増えた点は評価できる。
- ・次の手として、IoTの拠点づくりを行い、きめ細かく企業に指導しつつ、社会の実装に心がけようとしていることは評価に値する。
- ・多くの研究をサイバー空間に向けた情報通信技術に注力しており、時代を把握した研究が推進されている。
- ・ニーズ把握等新たな研究テーマ探索と社会実装のために、コンソーシアムや大学連携等様々な取り組みがされている。
- ・IoT時代に向けて、その要となる個々の技術①～④を重点課題とした研究開発は的を射たものと言える。
- ・先進コーティングの例にみられるアライアンスの組織化は、保有技術の実用化への展開のための拠点形成と方向性の確認に有力である。
- ・国際標準化提案を目標とした基盤構築や、コンソーシアム活動等、未だ十分とは言えないとしても、方向性は妥当と言える。
- ・他との連携、人材に関しても、かなりの成果が見られる。
- ・民間からの資金獲得については、目標値未達とは言え、昨年度実績から、それなりに増加した点は評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・「IoT時代の新たな価値の創造」というコンセプトはよいが、それと4つの重点化課題との関係(必然性)がよく分からない。従来からの研究を束ね直しただけのようにも見える。従来とは違う「新たな価値」とは何かを、もう一段ブレークダウンして示してほしい。IoT時代の象徴としては自動運転、AI、ロボットなどが挙げられるが、これらは今後20年間に社会と家庭の様相を根本的に変える可能性がある。それに向けてこの領域は何をすべきなのか、というようなことを示してほしい。
- ・経産省と研究者との評価の目線に少しずれた点もあるが、このことが研究者の士気に影響がないことを願う。
- ・女性や外国人を増やす努力をしていることはわかったが、単に数値上ではなく、なぜそうすることが本領域にとって有益なのかしっかりと考えて頂きたい。
- ・外部との連携は強化され、1:1でない場の設定にも努力されているが、多様な関係者による議論を仕組みとして強化し、将来に向けた研究テーマを探索することが望ましい。
- ・若手の人材育成については、議論をさせるだけでなく、小さな研究テーマの責任者を任せる等の工夫をして、将来にむけた人材育成を強化していただきたい。
- ・女性採用の対策については、全く不十分である。
- ・IoT時代に問われている、個々の技術が社会への新たな価値の創造にどのように貢献できると考えているかという点が、必ずしも明確には見えない。社会へのサービス・価値の創出に向けて、産総研総体としての本格研究スパイラルの推進に、本領域が主体的にどのような役割を果たして行くか、他の領域との連携も含めて、言及することが必要。つまり、産総研総体として、将来を見据えた研究開発テーマを主体的に提示し、産業界をリードすることが重要で、そのために本領域が主体的にアクションを起こすことが求められていると言える。
- ・環境づくりの取り組みは十分理解できるが、データを分析して現状の課題を認識し、それに対する対策を考えていただきたい。環境づくり以外の課題も明確になるはずで、評価委員会におけるAIST職員の女性比率も1つの指標となるはずである。また、女性が増えることによる研究の質向上も十分に議論いただくことが重要と思う。是非、検討いただきますようお願いしたい。

!

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

（評価できる点）

- ・スピントロニクスでは高い成果がたくさん得られている。素子研究に留まらず、必要に応じて書き込み方式にまで踏み込んで目標を達成しようとする姿勢は高く評価できる。相変化メモリもしっかりした計画・位置づけの上に進められている。ウィルスセンサもユニークなアイデアであり、試作実証も行っているなど実用化が期待できる。
- ・すでにこれらの研究では、基礎研究に留まらず、橋渡しの部分も並行して行われている。このようなコンカレントな R&D はあるべき姿であり、ぜひ推奨してほしい。
- ・基礎研究と応用研究とのスパイラルがうまく機能している。All AIST の実用 MTJ 素子は素晴らしい成果である。
- ・スピントロニクスの成果は非常に目覚ましいものがある。20 年前の技術をそのまま鵜呑みにせずに、現状の技術だからこそできる性能を極めようとした発想が良いと思う。
- ・とにかく成果が素晴らしい。1 年でこれだけ成果をだせるものなのかと驚きました。
- ・「新型メモリ/ロジック技術」においては、先端ロジックを製造する企業が国内に無いけれど、産総研だからこそやっているという軸のぶれが無いことが良いと思う。
- ・材料を検討して特性を調べる方向のみならず、シミュレーションから性能を確認してから材料を探す方向も良い方法と思います。
- ・光センシング技術においては、高感度ウィルスセンサで短時間に検出できる方法を見出したことは評価されます。課題も明確になっているので、今後の成果が期待されます。
- ・スピントロニクスは基礎研究として素晴らしい成果をあげている。これは継続性を大事にしている成果である。実用化できるかどうかは別として、応用も考えながら基礎的研究で大きな成果を出している。
- ・新型メモリについても、世界トップデータも出して、先端研究を進めている。
- ・光センシング技術は、社会の需要に答える新たな技術である。橋渡し後に基礎に戻った研究として、興味深い。
- ・スピントロニクス、新型メモリ/ロジック、光センシング、何れも世界最高レベルと言える成果を上げ、且つ産業への貢献も進んでいるという点は大いに評価に値する。
- ・スピントロニクスに見られる、究極的な技術的チャレンジを追究する一方で、実用化可能に達したものは産業界へ順次提供するという進め方は大いに評価できる。
- ・ロジック技術の重要性を堅持する研究開発は、産総研としての大きな役割である。
- ・光センシングを、超高感度ウィルスセンサへ適用するとともに、磁力を駆使することにより、簡便なセンサを実現するに至る着目点が大いに評価できる。

（改善すべき点及び助言）

- ・ロジックは従来のハードウェア研究であるが、ファウンドリ時代には設計技術の方に重点が移行する。IoT 時代に必要なチップは何かをよく考える必要がある。最近ではディープラーニング用 AI チップなども話題に上がっているが、今後の IoT 時代に向けて戦略の抜本的な見直しが必要ではないかと思われる。
- ・先端ロジックを製造する企業が国内に無い、とのことであるが、是非とも産総研で研究を進めていただきたい。
- ・基礎研究から橋渡しまで考えて行うことができる人が増えることが、この領域が伸びていくために必要と思われます。そのような人が思う存分力を発揮できるように、サポートする体制を考えてほしい。
- ・国内に事業がないロジックの研究開発をすることは重要であるが、研究を進める上で戦略的ビジネスモデルは考えておく必要がある。産総研だけで考える必要はなく、ビジネスモデルが得意な関係者と議論して進めていただきたい。
- ・スピントロニクスでは、橋渡しと、基礎研究の究極的な追究の兼ね合いを念頭に置いた実行計画（技術的ロードマップに留まらず）が具体的に示されるとよい。
- ・新型メモリ/ロジック技術の研究開発を推進することにより、国内に産業基盤が出現する可能性（方策）を示唆（提示）する記述があると良い。
- ・ウィルスセンサの実用化のための課題を整理して提示すると良い。
- ・共通して言えることは、基礎研究としての目標へのチャレンジが根幹である一方、目的基礎研究である以上、目的とする実用化への道筋を示すと良い。
- ・H29 年度以降の活動方針のポイントを、次のステップとして H28 年度の成果報告で言及すると良い。

!

(2)「橋渡し」研究前期における研究開発

(評価できる点)

- ・ネットワーク MEMS では、ひずみセンサレイシートを開発し橋梁での実証実験に成功した、など多くの成果が得られている。フレキシブルデバイスも伸縮性デバイスなど興味深い成果が得られている。
- ・ScAlN、MgNbAlN 等の材料開発からセンサーまでの一貫した研究は大きな成果である。これらの研究は「橋渡し」前期と捉えることによりも基礎から応用までの一貫した研究として、スピード感を持って実用化まで進めていただきたい。
- ・プリント技術としての進歩が目覚ましく、評価ができる。
- ・ネットワーク MEMS では、ひずみセンサ材料としてグラファイトに着目し、性能アップも図られており、期待できる。
- ・フレキシブルエレクトロニクスでは、生産化の検討もされていて、産業界を牽引できると考えられる。
- ・様々な重要な技術の開発を進めていて、着実な成果をあげている。
- ・扱っている技術自体は大変興味深いものであり、様々な応用の可能性につながると考えられる。
- ・道路インフラ・橋梁のモニタリングに、MEMS が強みを発揮する無線センサネットワークを活用しようとする研究開発は、IoT 世界において、評価できる着目点であり、早期の実用化に繋がる成果を上げている。
- ・フレキシブルエレクトロニクスも、活用範囲を大幅に拡大する可能性を持つ成果を上げ、連携による拠点事業を推進している点が評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・多種多様な応用が考えられているが、橋渡し前期ともなれば、それぞれの応用についてコストを含めた目標値が必要である。その上で、現状とのギャップ、ボトルネックはどこにあるか、必要なブレークスルーは何か、などが分かる実用化までのロードマップを示してほしい。
- ・企業の受け入れ待ちとならないように、さらに踏み込んで進めていただきたい。
- ・取り組んでいる技術成果の優位性の説明が多く、課題の説明が不足していた。特に、ベンチマークを成果の優位性説明に使用して、課題を見つけることに活用できていない。より広い観点からベンチマークを活用されることが望ましい。
- ・最終目標に対する計画がわかりにくい。
- ・実用化のための具体的な研究成果がかなりのレベルで得られ、更なる課題も比較的よく見えることを考えると、道路インフラや橋梁に代表されるように、喫緊の用途も存在することから、研究前期という枠組みに捉われず、実用化の時期を前倒しにする研究後期としての位置付けも必要ではないか。
- ・MEMS とフレキシブルエレクトロニクスのハイブリッドは、IoT 世界における広汎な活用に向けて大きな要素となるので、具体的に研究開発を進めるべきである。
- ・次年度以降の取り組み方針として、そのポイントを、本年度报告にて言及すると良い。

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

(評価できる点)

- ・コーティング技術では、企業との交流も多く、豊富なアイデアで色々な用途に積極的に挑戦している点は大いに評価できる。窒化物圧電体は独自の材料技術で、今後に期待できる。
- ・「橋渡し」研究後期から新しい基礎研究がいくつも生まれている。
- ・国際競争を意識した、日本独自の戦略を大いに発展させていただきたい。
- ・先進コーティングの AD 法については、成膜効率および成膜速度を数十倍に上げられたということは評価できる。
- ・先進コーティングアライアンスで 40 社入会して進められているので、これから社会への橋渡しが可能となっていくことが期待できる。
- ・スマートマニファクチュアリングとコーティングは、それぞれ特徴ある技術であり、それぞれの特徴に合わせた事業を視野に入れながら研究開発を進めている。それぞれ、事業としての戦略性も考えられている。
- ・標準化の重要性に着目している点。
- ・窒化アルミニウムをベースとして、圧電性能を高める材料の選択。
- ・MZ プラットフォームの概念を実現した点。
- ・先進コーティングをコア技術として打ち立てた点。さらに、早期の実用化へ向けて、SIP を含めた種々の連携・アライアンスにより推進拠点の構築を進めている点。

!

(改善すべき点及び助言)

- ・スマートマニュファクチャリングは、何を狙っているのかよく分からない。今ある工場の中にセンサをたくさん貼り付けて情報を取るだけのようにも見えるが、どれほどのニーズがあるのか疑問。IoT時代にふさわしい新しい製造とは何か？世間ではAI化、ロボット化、少量多品種、オンデマンド、リアルタイムなどのキーワードが言われているが、産総研としての斬新なコンセプトを打ち出してほしい。現状では、橋渡し「後期」とは言えないのではないかな？
- ・先進コーティングは色々なアイデアがあるが、その多くは「開発マーケティング」の段階のように思われる。橋渡しのためには、個々の応用についてコストを含む目標スペックを明確にして線表を引く必要がある。
- ・スマートマニュファクチュアリングでは、導入メリットがあまり明確化されていないように思う。使われている企業からの課題のフィードバックがないということは、いいことなのか悪いことなのかよく分からない。
- ・今後の事業化の戦略が良くみえない。
- ・先進コーティングについては、コーティング技術だけで市場に出すのは難しいように思う。固体型のデバイスまで作り上げる技術まで高め、パッケージングとして事業展開を考えてはどうでしょうか？
- ・スマートマニュファクチュアリングについては、国際標準化をより戦略的に進めることが我が国にとって重要であり、実際に国際標準化を計画的にとることを目標にしていきたい。
- ・先進コーティングについては、技術の囲い込みも含めた事業戦略を我が国として考える仕組みを提案していきたい。
- ・コストについての目標を常に意識することも必要である。
- ・標準化で世界の主導権を握るための戦略/戦術の構築が必要。そのためには保有技術の強みの見極めと活用が重要。それなくしては海外と連携しても飲み込まれるのみ。
- ・種々の研究成果を、スマートマニュファクチャリングという主軸の下で、どのように展開し統合的に活用するかという観点から、成果として出来ていることと、研究後期の位置づけとしての今後の課題等について、理解しやすいようまとめると効果的。
- ・先進コーティングについても同様に、成果として出来ていることと、研究後期として進めているアライアンス等、実用化への道を実確なものとするための課題を整理するとよい。
- ・次年度以降の取り組み方針について、そのポイントを、本年度报告にて言及すると良い。

3. 領域全体の総合評価

(評価できる点)

- ・昨年に比べて研究面ではかなり進展したように思われる。民間資金獲得額、人材育成、連携実績などの指標も着実に向上している。
- ・この一年間の成果は素晴らしい。この一年間の伸びを高く評価したい。
- ・論文発表の成果はすばらしく、それを社会に結びつけるための考えも表れており、評価に値する。
- ・資料の準備も発表についても、昨年に比べて非常に良くなったと思う。
- ・世界トップの技術を生み出す成果の最大化が重要であり、成果の最大化に邁進していただきたい。それを民間機関とも共有し、民間機関の深い理解を得ながら資金獲得にも励んでいただきたい。
- ・ご説明いただいた内容はどれも素晴らしい成果であり、1年間の研究の質の高さが理解できる。
- ・説明資料が大変わかりやすくできていたため、苦勞することなく、説明内容を理解することができた。
- ・全体的に、研究開発の成果が非常に具体的に見えるようになったことは評価に値する。
- ・この一年間の大きな進展・成果も著しい。
- ・更なる進展へ向けて基盤となる成果が得られている。

(改善すべき点及び助言)

- ・エレクトロニクスは、この20年で大変な激動を経験しただけに、仕切り直して新たな時代に立ち向かうには大きな「旗」を高く掲げる必要がある。幸いにもIoTという風が吹き始めた今、ぜひ夢のある大きなビジョンを打ち出していただきたい。
- ・研究開発は年々時間軸が短くなり、マーケットドリブンに移りつつある。これは、ひとつには科学研究が飽和したことの反映でもある。過去100年の間に物理も化学も十分に発展し、もはや基礎研究をやれば何か得られるという時代ではない。むしろ、蓄積された膨大な知識と技術がマーケットドリブンの研究を今こそ可能にしているのである。そういう研究は、明確な目標のもと、基礎からプロトタイプングまで必要なことをコンカレントにすべてやる。(ベンチャーのように)。今回発表された研究テーマも、

!

一つの段階に分類しきれないものが多々あった。そういう意味では、テーマを三つの段階に分類して順番に進めていくという発想は、従来のリニアモデルの焼き直しにすぎないのではないかと。重要なのは、マーケット（あるいは夢といってもいい）を見定めることであり、それに向かってコンカレントに突き進んでいくダイナミズムである。それを分類学で縛るべきではない。

- ・ 研究テーマの説明が三つの橋渡し段階で纏められているのにも違和感がある。普通は技術領域あるいは市場（出口）の切り口で戦略とポートフォリオが語られるのであるが、橋渡し段階で纏めるとそういう視点は出てこない。これも、領域全体がビジョンと具体的な戦略、ポートフォリオを欠いている一つの理由ではないか。
- ・ 民間資金の獲得に対して、もう一工夫が必要だと感じる。それは産総研が社会を変えるという夢を明確にしていくことが、民間資金獲得に繋がると思う。
- ・ Integration for Innovation を実行するために、“Integration”の強化を進めることで、より新しい概念をより強化していただきたい。
- ・ 研究の質を高めるための人材の多様性を追及していただきたい。
- ・ 個々の研究開発の成果に留まることなく、IoT 時代に問われている、個々の技術が社会への新たな価値の創造にどのように貢献できるかという点を、研究開発目的の根幹に据えるべきである。
- ・ 民間からの資金獲得の目標値が妥当であるかは議論の余地があり、単純な数値目標と捉えるべきではない一方で、産業界が中長期的な視点から魅力を感じる研究開発テーマを、大きなビジョンの基に設定して推進することが、民間資金の獲得に繋がると考えるべきである。その観点から、産総研総体として、将来を見据えた研究開発テーマを主体的に提示し、産業界をリードすることが求められていると言える。具体的には、本領域の研究開発成果が、他の領域との連携によって、大学や産業界ではなし得ないものを、産総研総体として生み出すことが肝要。
- ・ 本領域のベースとなるモノづくりの強みを、従来の狭義の意味ではなく、IoT 世界における新たな価値の創造に向けて、広義の意味のモノづくりを強みとするための研究開発を進めることが求められる。

4. 評点一覧

評価委員 (P, Q, R, S, T, U) による評価

評価項目	P	Q	R	S	T
領域の概要と研究開発マネジメント	A	A	A	A	A/B
「橋渡し」のための研究開発					
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	S/A	S	S/A	S	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	A	S/A	A	A/B
「橋渡し」研究後期における研究開発	A	A	A/B	A	A/B
領域全体の総合評価	A	A	A	A	A

5. その他のコメント

- ・ 産総研の使命は世界トップの研究成果を出すということである、と理解している。日本だけでなく、世界を引っ張っていく、という気概を持った研究活動を期待したい。次回は、中期計画に加えて、領域としての長期展望や方向性も示していただけることを期待したい。
- ・ 産総研のイメージが非常に良い方向に変わってきているという感じを受けました。基礎で世界一を目指すとともに、日本の社会全体が元気になるよう、夢を常に語ってほしいと思います。
- ・ 全体を示す図を共通に使用いただいたので、とてもわかりやすかった。資料を作成された関係者の方の努力が素晴らしいと思います。

平成 28 年度 研究評価委員会（エレクトロニクス・製造領域） 評価報告書

平成 29 年 6 月 19 日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 評価部

〒305-8561 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 1

つくば中央 1-2 棟

電話 029-862-6096

<http://unit.aist.go.jp/eval/ci/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。



AIST16-X00005-2